

Intensificación ecológica en explotaciones agrarias

Trabajo fin de grado

Grado en Biología

Facultad de Biología

Universidad de Sevilla

Autor: Claudio José Mougán Ruiz

Tutor: Juan Jauregui Arana

2023



Índice

- 1. Introducción**
- 2. Objetivos**
- 3. Servicios de los ecosistemas y enfoque en agricultura**
 - 3.1. Servicios de los ecosistemas**
 - 3.2. Eco-agricultura**
 - 3.3. Agroecología**
 - 3.4. Permacultura**
 - 3.5. Agricultura de conservación**
 - 3.6. Agricultura ecológica**
 - 3.7. Intensificación ecológica**
- 4. Técnicas de manejo para la intensificación ecológica de la agricultura**
 - 4.1. Técnicas de aprovechamiento de agua**
 - 4.1.1. Zanjas de infiltración**
 - 4.1.2. Siembra en contorno o líneas de nivel**
 - 4.2. Técnicas de conservación y aprovechamiento del suelo**
 - 4.2.1. Mulching o acolchado de suelos**
 - 4.2.2. Cero laboreo o siembra directa**
 - 4.2.3. Cubiertas vegetales vivas**
 - 4.2.4. Abonos verdes**
 - 4.2.5. Compostaje**
 - 4.2.6. Biofertilizantes**
 - 4.3. Técnicas que aumentan la biodiversidad**
 - 4.3.1. Intercropping**
 - 4.3.2. Márgenes multifuncionales**
 - 4.3.3. Rotación y asociación de cultivos**
 - 4.3.4. Cajas nido, posadero de rapaces y comederos de rapaces**
- 5. Discusión**
- 6. Conclusión**
- 7. Bibliografía**

1. Introducción

La postura dominante en el debate sobre la actual y futura seguridad alimentaria pone énfasis en la necesidad de intensificar la producción agrícola como respuesta a la demanda de una población global en crecimiento (Huang et al., 2002; Godfray et al., 2010). Generalmente, se asume que la producción agrícola debe aumentar un 70% para 2050, para responder al aumento poblacional y a los cambios en la dieta humana asociados con el aumento medio de ingresos de los países desarrollados (Tilman et al. 2011). El aumento en la producción de alimentos que se espera de la expansión agrícola es de un 15% (Lambin & Meyfroidt 2011), por lo que, mayoritariamente, se da por hecho, que la producción agrícola solo puede ser incrementada mediante una mejora de la productividad de los cultivos. Esta respuesta es un tanto simplista en cómo aborda el desafío de la seguridad alimentaria global, para justificar la intensificación industrial de la agricultura en el “norte” global con todos los problemas medioambientales que genera (Geiger et al. 2010), con la excusa de ayudar a los más pobres del planeta. Esto es compartido por los actores principales de la agricultura a nivel internacional, organizaciones de investigación, las industrias agroquímicas, ganaderas, gobiernos y numerosos miembros de la academia (Tittonell, 2014).

Para alcanzar la seguridad alimentaria en el mundo, se requiere cumplir sus cuatro pilares: disponibilidad, acceso, utilización, y la estabilidad de estas a lo largo del tiempo (Pinstrup-Andersen, 2009). A escala global, la producción actual de comida es suficiente para suplir las demandas humanas, como estima la Organización Mundial de la Salud (2013). Aun así, 805 millones de personas pasan hambre más de seis meses al año (WFP 2012). Recientemente, estudios nutricionales detallados han examinado las dietas globales y los requerimientos de ciertos alimentos, revelando que la producción de vegetales, nueces, frutas, leche y semillas comestibles son insuficientes para suplir la demanda mundial, pero que la producción de cereales y pescado son un 50% superior a los requerimientos humanos, mientras que la producción de carne roja es un 568% mayor que la necesaria en una dieta sana. Esto sugiere que la asunción del aumento de la producción de los alimentos es solo verdad para ciertos alimentos (vegetales un 11%, semillas y nueces un 58%, frutas un 34%...). También pone de manifiesto que el problema de la seguridad alimentaria no es la disponibilidad, sino el acceso a los alimentos.

Pero no es solamente un problema en distribución de alimentos, por ejemplo, para hacer frente a la inseguridad alimentaria en las áreas rurales de la África subsahariana, no es suficiente con producir grandes cantidades de alimentos en el medio este americano o en la pampa Argentina. La producción agrícola de estas regiones está sujeta a múltiples demandas, de las industrias alimentarias, ganaderas, químicas o energéticas, las cuales son más atractivas y logísticamente más asequibles que la necesidad de las poblaciones rurales pobres de países en desarrollo. Por lo tanto, para hacer frente al desafío de la seguridad alimentaria, hacen falta soluciones locales. En otras palabras, los alimentos deben de ser producidos allí donde son más necesarios. Paradójicamente, la mayor parte de las personas empobrecidas del mundo viven en zonas rurales y poseen pequeñas tierras, la mayor parte de las personas hambrientas son granjeros que pueden potencialmente producir sus propios alimentos, pero, su habilidad para hacerlo está condicionada por múltiples factores, como el acceso a insumos, conocimiento y tecnologías agrícolas, inestabilidades socio-políticas, falta de gobernabilidad o instituciones débiles, cambio climático, presiones demográficas o degradación de recursos naturales (UNCTAD 2013 , 2014 ; WFP 2013).

El modelo de intensificación agrícola actual no es capaz de alimentar al mundo hoy en día, con lo que no se puede esperar que pueda hacerlo en 2050. Este modelo, desplegado en los países desarrollados en el periodo de postguerra, ha tenido enormes consecuencias para el medio ambiente, y es muy dependiente de recursos no renovables. Por tanto, el modelo de intensificación surgido de la revolución verde no ha tenido los impactos positivos previstos en las regiones más pobres del planeta. De hecho, en estas regiones, la producción per cápita de alimentos y la productividad agrícola se mantiene en los mismos niveles que hace 50 años.

En consecuencia, surge la oportunidad, en aquellas regiones con agricultura aún no intensificadas, de incrementar la producción agrícola con un enfoque que promueva un medio ambiente sano, además, fomentando una agricultura resiliente y adaptada al cambio climático, y, en aquellas regiones muy productivas, mantener esta producción pero reduciendo los efectos negativos de la intensificación agrícola tradicional, en sintonía con el mantenimiento de un medio ambiente saludable, y pudiendo hacer frente a los efectos del cambio climático. Es por todo ello que es necesario conocer, qué técnicas pueden permitir este cambio de visión, y, como se relacionan con los humanos y los ecosistemas.

2. Objetivos

El objetivo de este trabajo es identificar las técnicas y prácticas de manejo de intensificación ecológica en agricultura. Por tanto, se pretende hacer una revisión bibliográfica de estas técnicas, señalando sus ventajas y los posibles inconvenientes. Además, se aspira a dar ideas y nociones prácticas de cómo estas técnicas pueden ser implantadas en la agricultura. Finalmente, se relacionarán estas técnicas con los servicios de los ecosistemas, de modo que se perciba un beneficio que los agricultores pueden obtener, y, valorando estas prácticas a escala del agroecosistema.

3. Servicios de los ecosistemas y enfoques en agricultura.

3.1. Servicios de los ecosistemas

La aproximación a la naturaleza desde los servicios de los ecosistemas viene dada desde una perspectiva antropocéntrica, en la cual, los ecosistemas y la biodiversidad que albergan se vincula directamente con el bienestar humano (Martín-Lopez & Montes., 2010). Desde este contexto antropocéntrico, los ecosistemas son entendidos como un capital natural, es decir como aquellos ecosistemas con integridad ecológica y resilientes, capaces de generar un flujo de servicios al ser humano, mediante el mantenimiento de sus funciones (Montes, 2007). De esta manera, los ecosistemas contribuyen al bienestar humano mediante la generación de una amplia variedad de funciones de los ecosistemas, las cuales son definidas como la capacidad de proveer servicios que satisfagan a la sociedad (de Groot et al. 2002)

Según The Millennium Ecosystem Assessment (2005) encontramos cuatro categorías:

1. Servicios de soporte o apoyo:

- Hábitat para especies: los ecosistemas proporcionan espacios vitales para los seres vivos, y, conservan una diversidad de complejos procesos que sustentan los demás servicios.
- Conservación de la diversidad genética: la diversidad genética proporciona la base para cultivos bien adaptados a las condiciones locales y un acervo génico para el desarrollo de cultivos y ganado.

2. Servicios de regulación:

- Clima local y calidad del aire: los ecosistemas influyen en el clima local y la calidad del aire
- Secuestro y almacenamiento de carbono: los ecosistemas regulan el clima mundial mediante el almacenamiento de gases de efecto invernadero.
- Moderación de fenómenos extremos: los ecosistemas y los organismos vivos crean amortiguadores contra las catástrofes naturales. Reducen los daños causados por inundaciones, tormentas, tsunamis, avalanchas, desprendimiento de tierras y sequías
- Tratamiento de aguas residuales: algunos ecosistemas como los humedales filtran efluentes, descomponen residuos mediante la actividad biológica de organismos y elimina agentes patógenos nocivos.
- Prevención de la erosión y conservación del suelo: la cubierta vegetal previene de la erosión del suelo y garantiza la fertilidad del suelo mediante procesos biológicos naturales como la fijación del nitrógeno. La erosión del suelo es un factor clave en el proceso de degradación de la tierra, pérdida de la fertilidad del suelo y desertificación.
- Polinización: Los insectos, el viento, las aves, murciélagos polinizan las plantas y árboles lo cual es fundamental para el desarrollo de frutas, hortalizas y semillas.
- Control biológico de plagas: actividades de los depredadores y parásitos en los ecosistemas que sirven para controlar las poblaciones de plagas y de posibles vectores de enfermedades.
- Regulación de los flujos de agua: la regulación de los flujos de agua es un servicio clave proporcionado por la cobertura y configuración del suelo.

3. Servicios de abastecimiento:

- Alimentos: los ecosistemas proporcionan las condiciones necesarias para el cultivo, la recolección, la caza o la cosecha de alimentos.
- Materias primas: los ecosistemas proporcionan maderas, biocombustibles o fibras animales y vegetales.

- Agua dulce: los ecosistemas desempeñan un papel fundamental en el suministro y almacenamiento de agua dulce.
 - Recursos medicinales: los ecosistemas naturales proporcionan una diversidad de organismos que ofrecen remedios eficaces para muchos tipos de problemas de salud.
4. Servicios culturales:
- Actividades de recreo y salud mental y física: caminar, practicar deporte...
 - Turismo
 - Apreciación estética e inspiración para la cultura, el arte y el diseño: animales, plantas y ecosistemas han sido fuente de inspiración para gran parte del arte, la cultura, el diseño y la ciencia.
 - Experiencia espiritual y sentimiento de pertenencia: la relación entre naturaleza y religiones, el sentimiento de pertenencia, el conocimiento tradicional y las costumbres.

Los servicios ecosistémicos serán de gran importancia y serán mencionados a lo largo de este trabajo.

3.2. Eco-agricultura

La eco-agricultura se define como la agricultura sostenible asociada a la gestión de los recursos naturales para mejorar la productividad, los medios de vida rurales, los servicios de los ecosistemas y la biodiversidad (Hjarsen, 1997). Es decir, tiene como objetivo aumentar la producción de alimentos sin los efectos negativos sobre la biodiversidad, encontrar mejores técnicas de cultivo y prácticas de manejo de recursos naturales, y generar mejoras en las instituciones y en las políticas agrarias (McNeely & Jeffrey 1997). La eco-agricultura, en general, plantea aprovechar los organismos genéticamente modificados y sustancias de síntesis química para aumentar la producción agrícola, a la vez que busca conservar los bosques naturales y hábitats de vida silvestre De Groot y Gómez 2007; Plummer 2009).

Estrategias en eco-agricultura (Scherr et al., 2007)

1. Minimizar la destrucción de hábitats por aumento de la productividad en cultivos.

2. Establecer corredores biológicos y aumentar la vida silvestre en zonas cultivadas.
3. Creación de áreas protegidas cerca de zonas de cultivos.
4. Imitar hábitats naturales integrando plantas perennes productivas.
5. Usar técnicas de cultivo que reduzcan la contaminación
6. Mejorar las prácticas de gestión de recursos para aumentar la calidad de los hábitats de las zonas cultivadas y su entorno.

La agricultura orgánica se define como un tipo de eco-agricultura que solo depende de los recursos naturales para cultivar alimentos (Fonseca et al., 2014). Es decir, se manejan las plagas por medios culturales y biológicos, y prohíbe el uso de productos químicos sintéticos. El problema principal que tiene es la baja productividad de los cultivos, y el alto costo de los insumos que utilizan.

3.3. Agroecología

La agroecología es «la ciencia, el movimiento y la práctica» de la aplicación de los procesos ecológicos en los sistemas de producción agrícola, pecuaria y forestal, así como en los sistemas alimentarios. Se basa en la aplicación de principios que combinan valores ecológicos y sociales, cuya aplicación se adapta a distintos contextos socio-ecológicos y también a distintas escalas, desde la muy pequeña para el autoconsumo hasta la gran escala, incluyendo el nivel de paisaje.

La agroecología es una disciplina científica relativamente nueva que, en comparación con la agronomía convencional, se basa en la aplicación de los conceptos y principios de la ecología al diseño, desarrollo y gestión de sistemas agrícolas sostenibles. La agroecología se basa en la producción de alimentos, implementando un enfoque ecosistémico completo, incluido el entorno social

3.4. Permacultura

El término permacultura fue acuñado por Bill Mollison y Holmgren (1978) para describir un sistema integrado y evolutivo de plantas perennes o auto perpetuantes

y de especies animales útiles para el ser humano. La permacultura es un sistema de creación de ambientes sostenibles y duraderos. El vocablo permite fusionar las palabras agricultura y permanente como dos estrategias culturales para la supervivencia usando el suelo como soporte y sustento (Mollison y Holmgren, 1978). Holmgren (2002), agrega que además este sistema permite diseñar paisajes que no modifican sustancialmente el territorio al tiempo que cubren las necesidades alimenticias y de recursos a nivel local.

3.5. Agricultura de conservación

Según la FAO, la agricultura de conservación es un sistema de cultivo que puede prevenir la pérdida de tierras cultivables y a la vez regenerar las tierras degradadas. Fomenta el mantenimiento de una cobertura permanente de los suelos, el laboreo mínimo de las tierras y la diversificación de especies vegetales. Potencia la biodiversidad y los procesos biológicos naturales por encima y por debajo de la superficie del suelo, lo que contribuye a un mayor aprovechamiento del agua y una mayor eficiencia en el uso de nutrientes, así como a la mejora y sostenibilidad de la producción de cultivos.

3.6. Agricultura ecológica

La agricultura ecológica, según la Unión Europea, es un método de producción cuyo objetivo es obtener alimentos utilizando sustancias y procesos naturales, promoviendo:

- El uso responsable de la energía y los recursos naturales
- El mantenimiento de la biodiversidad
- La conservación de los equilibrios ecológicos regionales
- La mejora de la fertilidad del suelo
- El mantenimiento de la calidad del agua

3.6. Intensificación ecológica

La intensificación ecológica se define como las técnicas agrícolas que aumenten la productividad de los cultivos a la vez que reducen los impactos negativos en el ambiente, integrando el manejo de los servicios ecosistémicos en los sistemas de producción agrícolas (Bommarco et al., 2013). El reto de la intensificación ecológica es aumentar la producción, hacerla estable y resiliente, a la vez que minimiza los impactos ambientales.

Observamos que hay diferentes tipos de enfoques en cuanto a una agricultura que busque, en mayor o menor medida, favorecer los procesos naturales, reducir la dependencia de productos nocivos, o conservar el medio ambiente. Más allá de debates estériles sobre que postura es más adecuada, o más o menos completa, el desarrollo numerosos tipos de agricultura y de enfoques, ha tenido como consecuencia el ensayo de numerosos tipos de técnicas de manejo, que pueden ser aplicadas en mayor o menor medida en ámbitos locales. Algunas de ellas están muy desarrolladas y extendidas, y otras en pleno desarrollo, pero son una buena opción para comenzar a aplicarlas en los lugares donde se han demostrado eficaces, y comenzar a probarlas en cultivos donde aún no se ha ensayado. Además de todo ello, las transiciones entre agricultura convencional y agricultura ecológica, por ejemplo, suelen conllevar un periodo de depresión, donde la productividad suele disminuir. Es por ello, que las técnicas deben ser aplicadas de manera subjetiva, y atendiendo al agricultor y sus necesidades. Por ejemplo, en un cultivo en transición, quizás no es el aumento de productividad la prioridad más inmediata, sino mantener una productividad alta con un cambio en el manejo y en los insumos del cultivo.

4. Técnicas de manejo para la intensificación ecológica de la agricultura

En esta sección cuarta, se expondrán diferentes técnicas de manejo para la intensificación ecológica de la agricultura, que, serán clasificadas en función de su efecto principal. Como veremos luego, todas estas prácticas son multifuncionales, pero muchas de estas funciones se han descrito y constatado con el tiempo, por lo que se clasificarán en base su función principal.

4.1. Técnicas de aprovechamiento del agua

4.1.1. Zanjas de infiltración

Las zanjas de infiltración son canales sin desnivel construidos en laderas, que, tienen por objetivo la captación del agua que escurre (Tapia et al., 2004). Otra definición sería la de Locatelli et al., (2020): las zanjas de infiltración son pequeñas trincheras de tierra construidas siguiendo curvas de nivel y generalmente acompañadas de una acumulación de tierra en la parte superior o inferior.

Los beneficios de las zanjas de infiltración son diversos: aumenta la infiltración de agua en el suelo, disminuye la erosión y pérdida de suelo por escorrentía, aumenta la disponibilidad de agua para los cultivos, y favorecen la estabilización del suelo.

Asimismo, también presentan limitaciones. Las franjas de infiltración, por si mismas, no controlan totalmente el proceso erosivo, sino que debe acompañarse de pastos o forestar los espacios intermedios entre zanjas, o acompañar de otras prácticas de conservación como la siembra en contorno (Carlson & Añazco 1990). Además, las zanjas de infiltración deben de estar sometidas a un correcto mantenimiento, ya que después de ciclos de lluvias torrenciales las zanjas se llenan de sedimentos, reduciendo su efectividad, y reduciendo su vida útil sin mantenimiento a dos o tres años (Taye, et al., 2015).

Con respecto al impacto de esta práctica en los servicios de los ecosistemas, se ha constatado que las zanjas de infiltración tienen un efecto positivo en servicios de regulación: favorecen la conservación del caudal base en ríos, manantiales o pozos durante la temporada seca o las sequías, reducen la escorrentía y las inundaciones, reducen la erosión y el transporte de sedimentos, y mejoran la fertilidad del suelo y, por tanto, la producción vegetal (Locatelli et al., 2020).

Finalmente, y como síntesis, la relevancia de esta práctica se basa no solamente en los beneficios que aporta al agricultor y a los cultivos, sino en los servicios de los ecosistemas que fomenta, destacando principalmente aquellos relacionados con el cambio climático, donde ayuda a mitigar los efectos negativos de la sequía y lluvias torrenciales, e incluso obteniendo beneficios en el cultivo en esta última. Además de su influencia en los servicios de los ecosistemas de regulación (prevención de la erosión y conservación de la fertilidad del suelo), también tiene efectos positivos en servicios de abastecimiento como en la producción de alimentos.

4.1.2. Siembra en contorno o líneas de nivel

La siembra en contorno es una técnica de siembra de agricultura regenerativa que consiste en sembrar las hileras del cultivo siguiendo las curvas de nivel del terreno, fundamentándose en que cada surco o hilera del cultivo se opone al paso del agua de lluvia, disminuyendo la velocidad de la corriente de agua y el arrastre del suelo (Soza & Baca, 2012). Por lo tanto, esta técnica solo es posible, al igual que las zanjas de infiltración en terrenos con cierta pendiente, y, al igual que las zanjas de infiltración, presenta una efectividad reducida cuando se realiza aislada (Gómez Calero et al., 2021). Se ha observado que tiene mayor efectividad cuando se realiza junto con franjas de infiltración (Carlson & Añazco 1990), junto con una cobertura vegetal (Gómez Calero et al., 2021), o junto con franjas de amortiguación de vegetación.

La plantación en contorno muestra múltiples beneficios, como la reducción de la erosión provocada por el viento y el agua de lluvia. Por otra parte, se relaciona con una disminución en el lavado del suelo, manteniendo la fertilidad del suelo. Además, su manejo resulta sencillo, y de bajo costo, al igual que su implantación. (Cubero et al., 2019).

Esta técnica de siembra presenta, también, algunas limitaciones, como su eficiencia en función de la pendiente del terreno. Se ha demostrado eficaz en pendientes entre el 2 y el 10%. En pendientes inferiores al 2% no sería una técnica recomendada ya que directamente no es útil, mientras que por encima del 10% no se podría trabajar mecánicamente. Igualmente, en campos cortados con barrancos o con una topografía muy ondulada (Gómez Calero et al., 2021). Además, la falta de mantenimiento de caballones y surcos que puedan transportar el agua de escorrentía sin desbordarse puede conllevar la pérdida en la eficacia de esta técnica.

En cuanto a los servicios ecosistémicos, esta práctica parece ser efectiva contra los fenómenos derivados del cambio climático, como las lluvias torrenciales, disminuyendo los efectos adversos como la pérdida de suelo y la erosión por escorrentía. En consecuencia, participa en la conservación de la fertilidad del suelo, la prevención de la erosión, y la regulación de los flujos de agua.

4.2. Técnicas de conservación y aprovechamiento del suelo.

4.2.1. “Mulching” o acolchado de suelos

El “mulching” o acolchado del suelo es una técnica agrícola que consiste en recubrir la superficie del suelo con una capa de material, que no se incorpora al perfil del suelo (Chalker-Scott, 2007). Existen diferentes materiales para realizar esta técnica, materiales orgánicos como restos vegetales o residuos animales, materiales inorgánicos como plásticos y otros sintéticos, y materiales especiales, como gravas o cementos (Kumar et al., 2023). Igualmente encontramos varias modalidades de acolchamientos: acolchado plano, donde se recubre la superficie del suelo total o parcialmente, acolchado de caballones donde se recubre la superficie del caballón, pero no del surco, o acolchado del caballón y del surco (Kumar et al., 2023).

Los beneficios del acolchado del suelo son diversos: reduce la pérdida de agua del suelo, la compactación, la erosión, la competencia por agua y nutrientes. Favorece el movimiento de lombrices que ayudan a mejorar la estructura del suelo y la circulación de nutrientes. Mantiene la zona radical cálida en invierno y fresca en verano, es decir, la aísla térmicamente, reduciendo el daño en la misma. Además, aumenta a largo plazo la disponibilidad de nutrientes del suelo (en acolchados orgánicos), la clorofila del cultivo (Yang et al., 2006), previene e inhibe enfermedades (Stoner, 1990), íntimamente relacionado con el aumento de la actividad biológica del suelo (McMillen, 2013), reducen el crecimiento de hierbas y mejoran la eficiencia del uso del agua por reducción de la evaporación.

En general, los aspectos negativos se relacionan con las coberturas de plásticos, siendo su manejo un problema mayor (Kyrikou and Briassoulis, 2007). Además, las coberturas de plástico reducen la materia orgánica del suelo, e incrementan los gases de efecto invernadero (Cuello et al., 2015).

Con respecto a los servicios de los ecosistemas, la regulación de la temperatura del suelo puede servir como mitigador de los efectos del cambio climático, además el aumento de clorofila y de rendimiento del cultivo puede incrementar la calidad del aire y el secuestro de carbono. Por otra parte, el aumento de la actividad biológica del suelo favorece el control biológico de plagas y la conservación de la fertilidad del suelo. Además, el acolchado sirve de refugio para especies y favorece la diversidad genética.

4.2.2. Cero laboreo o siembra directa

La siembra directa es una práctica agronómica en cultivos anuales en la que no se realizan labores, al menos el 30% de la superficie del suelo se encuentra protegida por restos vegetales, y la siembra se realiza con maquinaria habilitada para sembrar sobre el rastrojo del cultivo anterior (Albertengo et al., 2014). Esta técnica surge como una técnica de conservación del suelo en oposición a la labranza convencional donde se realizan surcos de una determinada profundidad en el perfil del suelo, mezclándolo y perdiendo su estructura, con el objetivo de favorecer la siembra de semillas y el aporte de materia orgánica al suelo (Balesdent et al., 2000).

La siembra directa presenta múltiples beneficios, ya que, al no alterar la estructura del suelo, reduce la erosión y la pérdida de este, y aumenta la materia orgánica y el carbono almacenado en el suelo, consecuencia de dejar los restos vegetales después de la cosecha en la superficie del suelo (West & Post, 2002; Pandey et al., 2014). Además, mejora las propiedades físicas del suelo, como la capacidad de retención de agua y la reducción de la compactación (Derpsch et al., 2010), aumenta la actividad enzimática del suelo por la presencia del rastrojo (Roldán et al., 2005; Zhang et al., 2014) y por mayor estabilidad de las enzimas adsorbidas en la matriz de los suelos (Acosta-Martínez et al., 2008). Además, se relaciona la siembra directa con menores costos en términos de combustible utilizado (Lal, 2004).

Por otra parte, la siembra directa tiene algunos inconvenientes asociados, como el lento desarrollo de aperos apropiados de siembra, el alto costo de los aperos y la falta de información específica respecto a prácticas de manejo. Esto está cambiando en los últimos años por el creciente interés de esta técnica, la aparición de asociaciones y otras entidades de asesoramiento. Igualmente, en función del lugar y su climatología, algunos autores reportaron una disminución del 6% en el rendimiento del cultivo cuando se usa esta práctica de manera aislada en regiones húmedas (Pittelkow et al., 2015).

Finalmente, esta práctica favorece los servicios de los ecosistemas, como la producción de alimentos, la prevención de la erosión, el mantenimiento de la fertilidad del suelo, el secuestro de carbono y la mitigación del cambio climático favorece el control biológico al mejorar la biodiversidad del suelo, y provee de hábitat para especies.

4.2.3. Cubiertas vegetales vivas

El establecimiento de cubiertas vegetales vivas es una práctica donde se siembra un cultivo a propósito o bien se seleccionan especies espontáneas en toda la superficie, o, en el centro de las calles, entre hileras de árboles, en este último caso, a modo de “franja verde”. La cubierta debe establecerse y mantenerse durante las estaciones húmedas del año. La terminación o siega de la cubierta se ha de hacer en el momento oportuno, que depende de cada región, tipo de cultivo y fenología, de manera que la cubierta no llegue a competir con la plantación de árboles y, siendo lo ideal dejar los restos de la siega en el suelo de manera que actúen como acolchado orgánico. Existen diferentes tipos de cubiertas vivas: cubierta de cereales (cebada, trigo o avena), cubiertas de leguminosas (vezas, trébol), o cubiertas espontáneas, donde se pueden seleccionar ciertas especies (como gramíneas) o no (Rodríguez, 2003).

Las principales ventajas derivadas del uso de cubiertas vegetales se relacionan con la mejora del suelo: reducen las pérdidas de suelo por erosión, aumentan la infiltración de agua en el suelo, especialmente en periodos intensos de lluvia, reduce la evapotranspiración del agua del suelo en la primavera y verano (una vez o se siegan), reducen las malas hierbas, aumentan la biodiversidad, principalmente artrópodos y lombrices del suelo, pero también de aves que nidifican en suelo. También pueden servir de alimento para la ganadería (de Prado et al., 1999).

Los principales inconvenientes que presentan se relacionan con las cubiertas cultivadas, en cuanto a los costes tanto de las semillas como de la siembra, y de la siega. Por otra parte, la elección del momento adecuado para la siega puede no ser tan evidente, con lo que existe cierto riesgo de que puedan llegar a competir con el cultivo, con lo cual, en función de la situación, sería necesario asesoramiento en este aspecto para evitar la competencia.

Finalmente, las cubiertas vegetales vivas favorecen ciertos servicios de los ecosistemas, como la producción de alimentos, ya que aumentan la productividad del cultivo en comparación a uno sin cubierta viva, puede servir de alimento a la ganadería y por tanto favorece los productos derivados, aumentan la calidad del aire, el secuestro de carbono, mitigan los efectos del cambio climático, previene la erosión, favorece la diversidad de polinizadores, o el control biológico de plagas.

4.2.4. Abonos verdes

Los abonos verdes son plantas cultivadas que se incorporan al suelo, generalmente durante el período de floración, con el fin de realizar una mejora agronómica (Guzmán & Alonso, 2008). Se sitúan entre las calles en las plantaciones de frutales o entre dos cultivos principales en rotación, cuando estos están distanciados en el tiempo. En ocasiones puede solaparse el cultivo del abono verde con el principal. Al igual que las cubiertas vegetales, se siembran después de verano, y se siegan e incorporan al suelo durante la primavera.

Los beneficios de los abonos verdes son múltiples: aportan fertilización nitrogenada, y, en función de las especies seleccionadas, y el cultivo principal asociado, pueden llegar a suplir la mayor parte del requerimiento nitrogenado del cultivo principal. Además, bombean nutrientes hacia la superficie, y, cuando los abonos se incorporan al suelo tras la siega, aumentan la cantidad de fósforo disponible, ya que aumentan la actividad biológica del suelo. También disminuyen la erosión y pérdida del suelo, ayudan en el control de hierbas por competencia y alelopatía, y fomentan el control biológico de plagas, ya que incrementan la actividad biológica del suelo, se pueden usar como planta trampa, o producen sustancias tóxicas que afectan a parásitos durante su descomposición.

Los principales inconvenientes derivan de los costos asociados, en la compra de semillas, la siembra y segado. Por otra parte, si la elección del abono verde no es adecuada, puede generar costes en agua, nutrientes y cuidado. Además, puede establecerse competencia entre el abono verde y el cultivo principal, sobre todo en condiciones de secano, es por ello, que al igual que las coberteras vivas, la siega e incorporación al suelo debe de realizarse antes de que pueda producirse.

Finalmente, los abonos verdes influyen positivamente los servicios de los ecosistemas, principalmente los servicios de aprovisionamiento, de regulación, y de apoyo ya que aumentan la producción de los cultivos reduciendo su dependencia de fertilizantes, otorgando refugio para especies y favoreciendo la diversidad genética, moderan los daños de fenómenos extremos como lluvias torrenciales, disminuyendo la erosión, la pérdida de suelo y favoreciendo el mantenimiento de la estructura y fertilidad del suelo, y, favorecen la diversidad de polinizadores y el control biológico de plagas.

4.2.5. Compostaje

El compostaje es un proceso de transformación de la materia orgánica, en el que la descomposición es llevada a cabo por numerosos microorganismos, bacterias y hongos. El vermicompostaje es un proceso de descomposición de la materia orgánica realizado por lombrices de tierra (Melgar & Fernandez, 2012). Ambos son procesos controlados, termo dependientes, aeróbicos, y que degradan la materia orgánica y la transforman en un material homogéneo y estabilizado (Vinyals, 2014). El producto del compostaje es el llamado compost o composta, y del vermicompostaje humus de lombriz, ambos utilizados como fertilizantes naturales. Estos procesos imitan la descomposición natural de la materia orgánica que ocurre en los suelos, pero acelerándola, es decir, intensificándola.

Los beneficios de la aplicación del compost son múltiples: mejoran la infiltración y retención de agua, disminuye las fluctuaciones de temperatura, evita la degradación del suelo y favorece su formación, mejora la estructura y la estabilidad del suelo, facilita el paso de las raíces y favorece la germinación. Por otra parte, aporta nutrientes, los moviliza, fomentando la actividad biológica del suelo, aumenta la capacidad de intercambio catiónico, secuestra carbono y contribuye a reducir las emisiones de dióxido de carbono (Vinyals, 2014). Además, mejora la sanidad de los cultivos, ya que favorece el control natural de plagas y enfermedades, mejora la actividad metabólica de las plantas, e incrementa la biomasa del terreno por incorporación de materia orgánica humificada, con mayor permanencia en el suelo.

Los posibles inconvenientes surgen del proceso de compostaje y vermicompostaje. Un tamizado inadecuado puede conllevar a la presencia de plásticos u otros elementos nocivos. También puede ocurrir que durante el compostaje de residuos con presencia de herbicidas u otros elementos químicos, estos no se degraden, pudiendo afectar a la calidad del compost y su eficacia.

Finalmente, el uso del compost y el vermicompost favorecen procesos del ecosistema como el secuestro y almacenamiento de carbono (Alvarado-Raya, 2023) el mantenimiento de la fertilidad del suelo, y principalmente en la producción de alimentos sustituyendo la dependencia de los cultivos de fertilizantes químicos y de síntesis. Además, plantea proyectos de residuos cero en cuanto al cierre de ciclo de siembra-cosecha- compost.

4.2.6. Biofertilizantes

La interpretación del término biofertilizante es muy amplia, representando desde microorganismos, abonos verdes y estiércoles, hasta extractos de plantas. De manera sintetizada, podemos decir que son productos que contienen microorganismos, que al ser inoculados pueden vivir asociados o en simbiosis con las plantas y le ayudan a su nutrición y protección (Vessey, 2003). Los biofertilizantes pueden ser hongos, como hongos micorrícicos, bacterias promotoras del crecimiento vegetal, o biopreparados, que son preparados sólidos o líquidos, obtenidos de la fermentación o descomposición biológica de materiales orgánicos (Lira, 2010).

Los beneficios de los biofertilizantes son diversos, por ejemplo, las micorrizas mejoran el estado nutricional de las plantas ya que incrementan el volumen de exploración de las raíces, aumentan la captación de agua y nutrientes, mejora la tolerancia a cambios de temperatura, protegen de patógenos, y, mejoran la estructura del suelo al mantener unido los agregados gracias al micelio y a la secreción de glomalinas (Alarcón y Ferrara, 2000). Las bacterias promotoras del crecimiento vegetal aumentan la fijación biológica del nitrógeno, producen reguladores de crecimiento, vitaminas y otras sustancias, incrementan la disponibilidad de nutrientes en la rizosfera, protegen de patógenos y expanden el área superficial de la raíz (Lugtenberg y Kamilova, 2009).

Los principales inconvenientes derivan del costo de implantación, es decir, por una parte, los biofertilizantes suponen un costo económico, y, por otra parte, el establecimiento de la simbiosis o la inoculación correcta es una tarea minuciosa que no siempre resulta exitosa. Igualmente, existen ciertas reticencias a usar bacterias y hongos como fertilizantes ya que están asociado a enfermedades (Bashan, 2008). Además, en algunos países latinoamericanos no hay industrias de inoculantes, y la producción de biofertilizantes suele ser baja, debido a su baja popularidad, lo que aumenta los costos (Grageda-Cabrera et al., 2012).

Los biofertilizantes suponen una fuente natural de preparados que mejoran el rendimiento y la salud de los cultivos, y, fomentan numerosos servicios de los ecosistemas. En primer lugar, favorecen los servicios de abastecimiento, como la producción de alimentos, los servicios de regulación, como la conservación de la fertilidad del suelo, el control biológico de plagas, o servicios de apoyo, ya que fomentan la diversidad genética.

4.3. Técnicas que aumentan la biodiversidad.

4.3.1. Intercropping

El intercropping, cultivos intercalares, o, la asociación de cultivos se define como el cultivo de dos o más especies (o genotipos) que crecen juntas y coexisten por un tiempo (Vandermeer 1990; Brooker et al., 2015). Existen diferentes modalidades de intercropping, el intercropping mixto, donde crecen dos o más cultivos de manera simultánea sin límites entre ellos, el intercropping de relevo, donde se planta un segundo cultivo antes de que el primero esté maduro, y el intercropping en bandas, donde crecen dos o más cultivos en bandas, de manera simultánea, permitiendo la interacción entre ellos, pero independizando los cultivos.

Los beneficios de los cultivos intercales son diversos: aumentan el control biológico de plagas se obtiene misma o mayor productividad con menores insumos, y producen agregados de alimentos o forrajes mayores y más estables por unidad de área. (Zhu et al., 2000; Lithourgidis et al., 2011; Smith et al., 2013). en aquellos lugares donde el agua es el recurso limitante, el intercropping puede aumentar la disponibilidad de agua o la eficiencia en su uso (Morris & Garrity, 1993; Xu et al., 2008), gracias a la mejora en la adquisición de agua en el perfil del suelo, ya sea por complementariedad en la arquitectura radical de las especies cultivadas (Shackel & Hall, 1984; Mao et al., 2012), por redistribución hídrica en los cultivos con raíces profundas, o por la redes micorrícicas (Caldwell et al., 1998; Prieto et al., 2012), lo que además reduce la escorrentía superficial (Van Duivenbooden et al., 2000). Igualmente, puede usarse para la repulsión de plagas y, aumenta la presencia de polinizadores.

Los inconvenientes principales surgen cuando se requieren un único producto estandarizado, ya que no es un sistema generalmente factible para la mecanización y los sistemas intensivos de cultivos. Por tanto, también plantea un problema económico en cuanto a mano de obra.

El intercropping, favorece múltiples servicios de los ecosistemas: aumenta la biodiversidad, sirve de hábitat y refugio para especies, aumenta la producción de alimentos, mitigan los efectos de fenómenos extremos como lluvias torrenciales, favorecen el control biológico de plagas, aumentan la polinización y la presencia de polinizadores y pueden mejorar la estética de los cultivos.

4.3.2. Márgenes multifuncionales

Los márgenes multifuncionales se definen como franjas de vegetación espontánea o sembrada que se implantan en parcelas agrícolas desempeñando múltiples funciones (Marshall & Moonen 2002). Según Greaves y Marshall (1987), se define como cualquier borde de un cultivo y el hábitat seminatural asociado al mismo. Los márgenes multifuncionales pueden tener una estructura más o menos definida, que puede componerse del perímetro, la banda del margen del cultivo, y el borde del cultivo.

El establecimiento de un margen multifuncional puede realizarse simplemente por permitir el desarrollo de la vegetación espontánea del margen o mediante siembra de vegetación específica. En este último caso, la mezcla de especies debe de cumplir tres requisitos: no deben de competir con el cultivo, tienen que ser de fácil implantación y deben de tener características heterogéneas, como diferentes tipos de flores, o de coloraciones florales (Viñuela et al., 2012). Una modalidad de margen multifuncional son los setos de vegetación permanente, que son hileras de árboles y arbustos (donde también crecen hierbas silvestres), generalmente situados en los bordes de las parcelas de cultivo, en los terraplenes y/o siguiendo los cursos de agua que atraviesan la finca (Guzmán & Alonso, 2009).

Los beneficios que aportan los márgenes multifuncionales son diversos: previenen la erosión del suelo, sirven de barrera al viento y al paso de contaminantes desde las áreas cultivadas a áreas naturales (Reichenberger et al., 2013), reducen las “malas hierbas” (Moreno-García., 2021), aumentan la diversidad de especies del suelo, que favorecen la descomposición de la materia orgánica, mejorando el reciclaje de nutrientes y la fertilidad del suelo, y pudiendo ejercer labores de control de plagas y polinización (Moreno-García., 2021). Además, también aumentan la abundancia de polinizadores, y, se relacionan con un aumento muy significativo del secuestro de carbono (Navarro et al. 2022).

Los principales inconvenientes vienen dados por los posibles efectos de colonización y competencia del margen con el cultivo principal, pudiendo evitarse con un correcto mantenimiento, y una buena elección previa de la mezcla de especies a usar.

Por último, los márgenes funcionales favorecen multitud de servicios de los ecosistemas, como servicios de abastecimiento, de regulación, de apoyo y culturales.

4.3.3 Rotación de cultivos

La rotación de cultivos es una práctica agrícola basada en el establecimiento reiterado de una ordenada sucesión de especies cultivadas en una misma parcela (Guzmán & Alonso, 2009). Es un término que se opone al de monocultivo, que es el crecimiento del mismo cultivo en la misma parcela durante varios años. En el caso de que las especies que intervienen en la rotación se cultiven simultáneamente, estas se denominan alternativas. En este caso, la finca se divide en diferentes parcelas, cada una dedicada a un cultivo distinto cada año, hasta completar la rotación (Guzmán & Alonso, 2009). Para maximizar sus efectos, la rotación de cultivos, normalmente, se complementa con la asociación de cultivos.

Los beneficios de la rotación de cultivos son diversos, encontramos efectos a corto plazo como mejoras en el nivel de acumulación de agua y disponibilidad de nitratos, o efectos a largo plazo, como aumentos en la disponibilidad de carbono del suelo (Abelleyra, 2023). En general, interrumpen el ciclo de vida de las plagas disminuye su presencia, lo que conlleva una reducción en el uso de pesticidas químicos sintéticos como medio de control (Carranza-Patiño et al., 2023). También aumentan y establecen biodiversidad en el tiempo (rotación) y en el espacio (alternativas), mejorando la cantidad y disponibilidad de nitrógeno, fósforo, potasio, calcio o magnesio (Guzmán & Alonso, 2009). Por otra parte, la rotación de cultivos mejora la protección frente a condiciones meteorológicas adversas, como vientos muy fríos o secos y cálidos, o del sol excesivo. Además, los cultivos son más eficientes en el uso del agua y de la luz, y se reduce la presencia de hierbas no deseadas. Finalmente, la rotación de cultivos mejora drásticamente el control biológico de plagas y reducen ampliamente las enfermedades asociadas a los cultivos por reducción de los vectores de enfermedades (Guzmán & Alonso, 2009).

Los principales inconvenientes de la rotación de cultivos provienen de un mal diseño o una mala implantación de la práctica. Un mal diseño puede provocar la competencia entre las especies cultivadas y la mala gestión y distribución de recursos en el suelo. También podría suceder la atracción de vectores de enfermedades y plagas no deseadas. Un correcto diseño evitaría estos problemas potenciales con facilidad.

Por último, con respecto a los servicios ecosistémicos, la rotación de cultivos mejora el rendimiento de los cultivos y, por tanto, la producción de alimentos, ofrecen hábitats para especies, aumentan la diversidad genética, favorecen el secuestro y almacenamiento de carbono, moderan el efecto de fenómenos climáticos extremos, previene la erosión del suelo y promueven su conservación, además de beneficiar el control biológico de plagas y la abundancia de polinizadores.

4.3.4. Cajas nido, posaderos de rapaces, y comederos de rapaces.

Las cajas nido son artificios que se instalan para ofrecer un refugio o hueco para anidar, simulando, de la mejor manera posible, las condiciones naturales (Muñoz-Pedrerros, 2004). Tienen el objetivo de atraer ciertas aves, como rapaces, insectívoras, y algunas específicas para murciélagos, para que puedan reproducirse de manera efectiva. Las cajas nido, además, son multifuncionales, ya que en primer lugar tienen una función conservacionista, mitigando la falta de huecos para la nidificación de ciertas especies y ofreciendo refugio, en segundo lugar, pueden tener una función en investigación, ya que permiten estudios etológicos, reproductivos y de dinámica poblacional. En tercer lugar, son efectivas en el control biológico de plagas, principalmente de roedores y lagomorfos, y, por último, son instrumentos valiosos en programas de educación y comunicación ambiental.

Los posaderos de rapaces son artificios que se instalan con el objetivo de que rapaces se posen. El objetivo es imitar los posaderos naturales que las rapaces utilizan para depredar, favoreciendo su presencia en los lugares deseados, como los cultivos (Muñoz-Pedrerros, 2004). Son eficaces para especies que suelen cazar roedores desde posaderos elevados cerca de campos abiertos o en el límite de bosques.

Los comederos de rapaces son artificios que imitan los comederos naturales de rapaces, que suelen ser arboles con ramas gruesas, supliendo por tanto de un espacio en altura para depredar sus presas y alimentarse con tranquilidad y de forma segura.

El objetivo de todos estos artificios no es más que favorecer la presencia de rapaces en los cultivos de una manera permanente o al menos asidua.

El principal beneficio para la agricultura es el control biológico de plagas. Dependiendo de la plaga las especies rapaces de interés difieren en efectividad. Por ejemplo, para el control biológico del topillo, las aves de interés son el cernícalo vulgar,

la lechuga y el mochuelo, que pueden consumir hasta tres topillos diarios, lo que hace un total de 1000 topillos al año (da Silveria, 2022).

Finalmente, y con respecto a los servicios de los ecosistemas, esta práctica resulta muy beneficiosa, ya que mejora los recursos de abastecimiento, como la producción de alimentos, son efectivas en la regulación de plagas, ofrece hábitat y refugio para rapaces, conservando la diversidad genética, y, además, favorece múltiples servicios culturales, como la recreación, la educación o la investigación.

5. Discusión

La gran variedad de enfoques en agricultura muestra un interés creciente en la búsqueda de técnicas de manejo que usen y favorezcan los servicios de los ecosistemas, integrándolos en la agricultura como procesos beneficiosos. Esto se ha traducido en una multitud de técnicas de manejo que pueden ser utilizadas para la intensificación ecológica de la agricultura. En ocasiones, las diferencias entre ciertas técnicas pueden parecer un poco difusas, por ejemplo, la diferencia entre un abono verde y una cobertera vegetal viva es el objetivo principal de su implantación. Las coberteras vegetales vivas suelen utilizarse en agricultura de conservación o en agricultura regenerativa, como una técnica que reduzca la erosión y la pérdida de suelo, mientras que los abonos verdes se utilizan con el objetivo de aumentar la cantidad de nitrógeno en el suelo, entre otros nutrientes, y reducir la dependencia de fertilizantes. Por tanto, muchas de las técnicas difieren principalmente en el objetivo principal que justifica su implantación. Pero estas diferencias muchas veces hacen que estas técnicas no sean excluyentes, es decir, ¿se puede diseñar una cubierta vegetal viva que además sea un abono verde?

Más allá de las diferencias entre las técnicas de manejo, lo más interesante es su versatilidad y generar una visión de conjunto, donde se integren cuantas más técnicas, mejor. De hecho, el objetivo pasar de sistemas simples, como monocultivos sin rotaciones, a sistemas complejos de policultivos con rotaciones y con muchas de estas prácticas incluidas. Hemos visto que muchas de las técnicas, presentaban eficacias reducidas cuando se usaban aisladas. Es, por tanto, la integración de estas técnicas lo que mejora la eficacia de cada una de ellas y el sistema como un conjunto complejo.

Pero no solamente integrar las técnicas, sino jugar con su versatilidad. Es decir, se puede diseñar un margen multifuncional que rodee el perímetro del campo de cultivo, donde, se dispongan barreras vegetales permanentes que protejan del viento y aporten

refugio, con especies herbáceas sembradas que atraigan polinizadores, con abonos verdes para hacer el margen “autosuficiente”, con posaderos de rapaces y cajas nido. También se podría jugar con las cubiertas vivas, el intercropping, y los abonos verdes diseñando bandas florales para polinizadores, abonos verdes para el aporte de nutrientes y cubiertas o setos que protejan de la erosión.

Igualmente sería de gran interés diseñar sistemas de cero residuos en las fincas jugando con el compostaje y el vermicompostaje. En estos se puede reciclar y convertir en abono cualquier producto orgánico, desde desechos vegetales, a desechos alimentarios. Además, la producción de biofertilizantes, bioestimulantes, preparados vegetales, y otros productos es una idea prometedora en ahorro de costes de productos comerciales y para el uso de plantas normalmente consideradas como “inútiles”. Por ejemplo, la ortiga crece de manera espontánea en muchísimos lugares, y, la preparación de un purín de ortiga es algo sencillo al alcance de cualquiera, ya que solo requiere un proceso de maceración. El purín de ortiga funciona como insecticida, fungicida y además puede servir de abono foliar. Por tanto, se puede avanzar también en la autosuficiencia de insumos, o, al menos en la reducción de la dependencia de productos comerciales por productos “coste cero”.

Por otra parte, todos estos diseños complejos deben de tener en cuenta los costes de mantenimiento, ya que habría que estudiar en términos de costos de mano de obra la rentabilidad de crear sistemas tan complejos si al final requieren de un esfuerzo desmesurado. Es por ello por lo que hay que avanzar en la investigación de estos sistemas complejos, reduciendo las posibles limitaciones y efectos negativos.

Por último, hay que destacar, que frente a la simplificación del agroecosistema que promueve la intensificación agrícola, la intensificación ecológica pretende imitar los procesos naturales para restaurar la biodiversidad y los procesos ecológicos para obtener un agroecosistema sano: el compostaje y la red trófica del suelo, los posaderos y cajas nido como estructuras funcionales, las bandas multifuncionales para polinizadores y enemigos naturales, etc. En definitiva, acelerar, recuperar y fomentar procesos naturales para que realicen el trabajo que el agricultor convencional hace pagando insumos o simplificando el sistema con externalidades negativas, transformado, estas últimas, en positivas.

6. Conclusión

Por último, a modo de síntesis, se presenta una tabla donde se relacionan las técnicas de manejo para la intensificación ecológica de la agricultura con los servicios ecosistémicos, que son, los que aportan un sentido ecológico a estas prácticas, y, de especial relevancia frente a la degradación de la naturaleza.

La tabla que se presenta es de elaboración propia, donde las técnicas de manejo expuestas vienen resumidas en siglas, explicadas a continuación junto con los símbolos utilizados:

ZI: Zanjas de infiltración

BF: Biofertilizantes

SC: Siembra en contorno

IC: Intercropping

MU: Mulching

MM: Márgenes multifuncionales

SD: Siembra directa

RC: Rotación de cultivos

CV: Cubiertas vegetales

CN: Cajas nido, posadero de rapaces, comedero de rapaces

AV: Abonos verdes

CP: Compostaje



: Favorece o fomenta el servicio del ecosistema (1.).



: Depende del caso puede fomentar el servicio del ecosistema o no. Por ejemplo, en un margen multifuncional se pueden sembrar especies de interés medicinal, depende del diseño y la mezcla de especies de este. Igualmente puede ser que aún no este constatado como fomenta un servicio del ecosistema, pero que potencialmente lo puede favorecer (2.).

Finalmente, es necesario destacar, que, en primer lugar, ninguna de estas técnicas tiene impactos negativos en los servicios del ecosistema, o bien los fomentan, o bien no tienen efecto sobre ellos. En segundo y último lugar, hay técnicas como los márgenes multifuncionales, que favorecen la mayor parte de los servicios de los ecosistemas, y, potencialmente pueden favorecer otros en función del diseño y el enfoque. Por tanto, las posibilidades de esta, y muchas otras técnicas, son muy amplias, y aún queda camino por recorrer para optimizarlas y aún, si es posible, obtener mayores beneficios de ellas.

	TM/SSEE	ZI	SC	MU	SD	CV	AV	CP	BF	IC	MM	RC	CN
Aprovisionamiento	Alimento	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
	Materias primas	✓				?	?				?		
	Agua dulce	✓	✓	✓		✓		✓	✓			✓	
	Recursos medicinales					?				?	?	?	
Regulación	Aire				✓	✓	✓	✓		✓	✓	✓	
	Secuestro de carbono	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓		✓	✓	✓	
	Moderación fenómenos extremos	✓	✓	✓	✓	✓	✓			✓	✓	✓	
	Prevención erosión	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	
	Conservación del suelo	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓		
	Regulación flujos agua	✓	✓								✓		
	Tratamiento aguas residuales												
	Polinización					✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
	Control biológico			✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
												✓	
Culturales	Actividades recreativas										✓		
	Estética/inspiración		?			?				?	?		
	Experiencia espiritual		?			?				?	?		
Apoyo	Hábitat para especies			✓	✓	✓	✓	✓		✓	✓	✓	✓
	Conservación de la diversidad genética			✓	✓	✓	✓	✓		✓	✓	✓	✓

Bibliografía

1. Imagen extraída de: https://es.m.wikipedia.org/wiki/Archivo:Yes_Check_Circle.svg
2. Imagen extraída de: <https://icones.pro/es/signo-de-interrogacion-naranja-e-icono-de-pregunta-simbolo-png/>
3. Abelleyra, D. D. (2023). Caracterización de rotaciones de cultivos y su impacto en el rendimiento y funcionamiento de sistemas agrícolas (Doctoral dissertation, Universidad de Buenos Aires. Facultad de Agronomía. Escuela para Graduados).
4. Acosta-Martinez, V., Dowd, S., Sun, Y., & Allen, V. I. V. I. E. N. (2008). Tag-encoded pyrosequencing analysis of bacterial diversity in a single soil type as affected by management and land use. *Soil Biology and Biochemistry*, 40(11), 2762-2770.
5. Alarcón, A., & Ferrera-Cerrato, R. (2000). Biofertilizantes: importancia y utilización en la agricultura. *Agricultura Técnica en México*, 26(2), 191-203.
6. Albertengo, J., Belloso, C., Giraudo, M. B., Peiretti, R., Permingeat, H., & Wall, L. (2014). Conservation agriculture in Argentina. In *Conservation agriculture: global prospects and challenges* (pp. 352-374). Wallingford UK: CABI.
7. Altieri Miguel, A. (1999). Agroecología: Bases científicas para una agricultura sustentable. *Montevideo: Nordan-Comunidad*.
8. Altieri, M. A. (2002). Agroecología: principios y estrategias para diseñar sistemas agrarios sustentables. *Agroecología: el camino hacia una agricultura sustentable*, 27-34.
9. Assessment, M. E. (2005). *Ecosystems and human well-being* (Vol. 5, p. 563). Island Press, Washington, DC.
10. Balesdent, J., Chenu, C., & Balabane, M. (2000). Relationship of soil organic matter dynamics to physical protection and tillage. *Soil and tillage research*, 53(3-4), 215-230.
11. Bashan, Y. (2008). El uso de inoculantes microbianos como una importante contribución al futuro de la agricultura mexicana. *La biofertilización como tecnología sostenible*. Plaza y Valdéz. México, 17-24.
12. Bommarco, R., Kleijn, D., & Potts, S. G. (2013). Ecological intensification: harnessing ecosystem services for food security. *Trends in ecology & evolution*, 28(4), 230-238.
13. Brooker, R. W., Bennett, A. E., Cong, W. F., Daniell, T. J., George, T. S., Hallett, P. D., ... & White, P. J. (2015). Improving intercropping: a synthesis of research in agronomy, plant physiology and ecology. *New Phytologist*, 206(1), 107-117.
14. Calame, M., & Darrot, C. (2016). Comprendre l'agroécologie. Origines, Principes et Politiques. Editions Charles Léopold Mayer. Paris.
15. Caldwell, M. M., Dawson, T. E., & Richards, J. H. (1998). Hydraulic lift: consequences of water efflux from the roots of plants. *Oecologia*, 113, 151-161.
16. Carlson, P. J., & Añazco, M. (1990). Establecimiento y manejo de prácticas agroforestales en la sierra ecuatoriana. Quito: Red Agro-Forestal Ecuatoriana.
17. Carranza-Patiño, M., Contreras-Mora, M., Macias-Leon, M., Pincay-Pin, P., Rendón-Margallón, E., & Robinson, H. F. (2023). Uso de los pesticidas y su efecto en el cultivo de Zea mays: Una revisión de la literatura. *Código Científico Revista de Investigación*, 4(E2), 1258-1286.
18. Chalker-Scott, L. (2007). Impact of mulches on landscape plants and the environment—A review. *Journal of Environmental Horticulture*, 25(4), 239-249.

19. Costanza, R., d'Arge, R., De Groot, R., Farber, S., Grasso, M., Hannon, B., ... & Van Den Belt, M. (1997). The value of the world's ecosystem services and natural capital. *nature*, 387(6630), 253-260.
20. Cubero Fernández, D., Elizondo Alvarado, M. J., & para el Desarrollo Sostenible, F. (2019). Siembra a contorno o en curvas a nivel: uso del codal.
21. Cuello, J. P., Hwang, H. Y., Gutierrez, J., Kim, S. Y., & Kim, P. J. (2015). Impact of plastic film mulching on increasing greenhouse gas emissions in temperate upland soil during maize cultivation. *Applied Soil Ecology*, 91, 48-57.
22. da Silveira, P. (2022). "Tenemos que poner la venda antes de la herida": Colocación de cajas nidos de aves rapaces para el control biológico del topillo. *Agricultura de conservación: AC*, (52), 19-22.
23. Daily, G.C. (1997) *Nature's Services: Societal Dependence On Natural Ecosystems*, Island Press
24. de Groot R.S., Wilson M.A., Boumans R.M.J. (2002). A typology for the classification, description and valuation of ecosystem functions, goods and services. *Ecological Economics*, 41: 393-408
25. de Prado J.L., Armando A., García L., Zaragoza C., Saavedra M., Gómez J. Cubiertas vegetales en arboricultura frutal. 1999. Ficha técnica nº5. Asociación Española de Agricultura de Conservación/Suelos Vivos (AEAC.SV).
26. Derpsch, R., Friedrich, T., Kassam, A., & Li, H. (2010). Current status of adoption of no-till farming in the world and some of its main benefits. *International journal of agricultural and biological engineering*, 3(1), 1-25.
27. Eliseo Alvarado-Raya, H., Emilio Escamilla-García, P., Eugenia Estrada-Chavira, M., Pérez-Soto, F., & Elideth Moreno-López, K. (2023). La composta como reductor de gases de efecto invernadero en el sector agrícola: una revisión integral. *Informacion Tecnica Economica Agraria*, 119(1).
28. Fonseca, J. A., Orozco, A. D. J. J., & Leguízamo, J. A. C. (2014). La ecoagricultura y la agroecología como estrategia tecnológica que potencia los servicios ecosistémicos. una revisión. *Temas agrarios*, 19(2), 260-275.
29. Geiger, F., Bengtsson, J., Berendse, F., Weisser, W. W., Emmerson, M., Morales, M. B., ... & Inchausti, P. (2010). Persistent negative effects of pesticides on biodiversity and biological control potential on European farmland. *Basic and Applied Ecology*, 11(2), 97-105.
30. Godfray H.C.J., Beddington J.R., Crute I.R., Haddad L., Lawrence D., Muir J.F., Pretty J., Robinson S., Thomas S.M., Toulmin C. (2010) Food security: the challenge of feeding 9 billion people. *Science* 327:812–818.
31. Gómez Calero, J. A., Krása, J., Quinton, J. N., Klik, A., Fereres Castiel, E., Intrigliolo, D. S., ... & Dostál, T. (2021). Mejores prácticas de manejo para el uso optimizado del suelo y el agua en la agricultura.
32. Gómez-Baggethun, E., & de Groot, R. (2007). Capital natural y funciones de los ecosistemas: explorando las bases ecológicas de la economía. *Ecosistemas*, 16(3).
33. González J.E., Gil J.A., Ordóñez R., Carbonell R.M., Veroz O. Técnicas agrarias sostenibles mitigadoras del cambio climático. Asociación Española Agricultura de Conservación. Suelos Vivos (AEAC.SV).
34. Grageda-Cabrera, O. A., Díaz-Franco, A., Peña-Cabriales, J. J., & Vera-Nuñez, J. A. (2012). Impacto de los biofertilizantes en la agricultura. *Revista mexicana de ciencias agrícolas*, 3(6), 1261-1274.
35. Grageda-Cabrera, O. A., Esparza-García, F., & Peña-Cabriales, J. J. (2000). Environmental impact of nitrogen fertilizers in the region known as 'Bajío' in Mexico. *Environmental Biotechnology and Cleaner Processes (SANCHEZ, G., OLGUIN, G., Eds.)*, Taylor and Francis, London, 45-54.
36. Greaves, M. P., & Marshall, E. J. P. (1987). Field margins: definitions and statistics. *Field Margins. Monograph*, (35), 3-10.

37. Guzmán Casado G.I. & Alonso Mielgo A. M. Buenas prácticas en producción ecológica. Funcionalidad de los setos. 2009. Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino.
38. Guzmán Casado G.I. . & Alonso Mielgo A.M. Buenas Prácticas en Producción Ecológica. Uso de Abonos Verdes. 2008. Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino.
39. Guzmán G.I. & Alonso A.M. (2009) Buenas Prácticas en Producción Ecológica. Asociaciones y Rotaciones. Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino.
40. Hjarssen, T. (1997). Effects of rural agriculture and plantation forestry on high Andean biodiversity. *Copenhagen, Denmark: Centre for research on the Cultural and Biological Diversity of Andean rainforests.*
41. Holmgren, D. (2002). Permaculture: Principles and pathways to sustainability. *Victoria: Holmgren Design Services. Search in.*
42. Huang J, Pray C, Rozelle S (2002) Enhancing the crops to feed the poor. *Nature* 418:678–684.
43. Kumar, P., & Usadadiya, V. P. (2023). Mulching: An Efficient Technology for Sustainable Agriculture Production. *International Journal of Plant & Soil Science*, 35(20), 887-896.
44. Kyrikou, I., & Briassoulis, D. (2007). Biodegradation of agricultural plastic films: a critical review. *Journal of Polymers and the Environment*, 15, 125-150.
45. Lal, R. (2004). Soil carbon sequestration impacts on global climate change and food security. *Science*, 304(5677), 1623-1627.
46. Lambin, E. F., & Meyfroidt, P. (2011). Global land use change, economic globalization, and the looming land scarcity. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 108(9), 3465-3472.
47. Lira, A. I. (2010). Manual de Biopreparados para la Agricultura Ecológica.
48. Lithourgidis, A. S., Dordas, C. A., Damalas, C. A., & Vlachostergios, D. (2011). Annual intercrops: an alternative pathway for sustainable agriculture. *Australian journal of crop science*, 5(4), 396-410.
49. Locatelli, B., Homberger, J. M., Ochoa-Tocachi, B. F., Bonnesoeur, V., Román, F., Drenkhan, F., & Buytaert, W. (2020). Impactos de las zanjas de infiltración en el agua y los suelos: ¿Qué sabemos?.
50. Lugtenberg, B., & Kamilova, F. (2009). Plant-growth-promoting rhizobacteria. *Annual review of microbiology*, 63, 541-556.
51. Mao, L., Zhang, L., Li, W., van der Werf, W., Sun, J., Spiertz, H., & Li, L. (2012). Yield advantage and water saving in maize/pea intercrop. *Field Crops Research*, 138, 11-20.
52. Marshall, E. J. P., & Moonen, A. C. (2002). Field margins in northern Europe: their functions and interactions with agriculture. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 89(1-2), 5-21.
53. Martín-López, B., & Montes, C. (2010). Funciones y servicios de los ecosistemas: una herramienta para la gestión de los espacios naturales. *Guía científica de Urdaibai*, 1, 13-32.
54. Martín-López, B., González, J. A., Díaz, S., Castro, I., & García-Llorente, M. (2007). Biodiversidad y bienestar humano: el papel de la diversidad funcional. *Ecosistemas*, 16(3).
55. McMillen, M. (2013). The effect of mulch type and thickness on the soil surface evaporation rate. California Polytechnic State University, USA.
56. McNeely, J. A. (1997). Assessing methods for setting conservation priorities. *Organization for Economic Cooperation and Development. Investing in Biological Diversity. Paris: OECD*, 25-55.

57. Melgar, R & Fernández, M.M. (2012). Recomendaciones para elaborar compost y vermicompost a partir de restos vegetales. Consejería de Agricultura, Pesca y Medio Ambiente, Instituto de Investigación y Formación Agraria y Pesquera. 1-21 p.
58. Mollison, B., & Holmgren, D. (1978). Permaculture; Lesmurdie Progress Association. *Tasmania. Colgi*.
59. Moreno-García, M., Repullo-Ruibérriz de Torres, M. Á., Carbonell-Bojollo, R., López-Tirado, J., Aguado-Martín, L. Ó., Rodríguez-Lizana, A., & Ordóñez-Fernández, R. (2021). Effects of Multifunctional Margins Implementation on Biodiversity in Annual Crops. *Agronomy*, *11*(11), 2171.
60. Morris, R. A., & Garrity, D. P. (1993). Resource capture and utilization in intercropping: water. *Field Crops Research*, *34*(3-4), 303-317.
61. Muñoz-Pedrerros, A. (2004). Aves rapaces y control biológico de plagas. *Aves rapaces de Chile* (A. Muñoz-Pedrerros, J. Rau, and J. Yáñez, Editors). CEA Ediciones, Valdivia, Chile, 307-334.
62. Navarro, S. J., García, M. M., Fernández, R. O., Bojollo, R. M. C., & de Torres, M. A. R. R. (2022). Márgenes multifuncionales en secano para un mejor balance en carbono y biodiversidad. *Revista de Ciências Agrárias*, *45*(4), 690-694.
63. NRCS, 2007. National Resource Conservation Services. Natural Resources Conservation Service. Conservation Practice Standard Contour Farming #330.
64. Pandey, D., Agrawal, M., & Bohra, J. S. (2014). Effects of conventional tillage and no tillage permutations on extracellular soil enzyme activities and microbial biomass under rice cultivation. *Soil and Tillage Research*, *136*, 51-60.
65. Pittelkow, C. M., Linquist, B. A., Lundy, M. E., Liang, X., Van Groenigen, K. J., Lee, J., ... & Van Kessel, C. (2015). When does no-till yield more? A global meta-analysis. *Field crops research*, *183*, 156-168.
66. Plummer, M. L. (2009). Assessing benefit transfer for the valuation of ecosystem services. *Frontiers in Ecology and the Environment*, *7*(1), 38-45.
67. Prieto, I., Armas, C., & Pugnaire, F. I. (2012). Water release through plant roots: new insights into its consequences at the plant and ecosystem level. *New Phytologist*, *193*(4), 830-841.
68. Reichenberger, S., Bach, M., Skitschak, A., & Frede, H. G. (2007). Mitigation strategies to reduce pesticide inputs into ground-and surface water and their effectiveness; a review. *Science of the total environment*, *384*(1-3), 1-35.
69. Rodríguez Lizana, A. (2003). Cubiertas vegetales en el olivar. *Agricultura. Revista Agropecuaria*, 2003 (853), 504 p.-510 p.
70. Roldán, A., Salinas-García, J.R., Alguacil, M.M., Caravaca, F., (2005). Changes in soil enzyme activity, fertility, aggregation and C sequestration mediated by conservation tillage practices and water regime in a maize field. *Applied Soil Ecology* *30*, 11–20
71. Sarandón, S. J., y Labrador, J. (2002). El uso de policultivos en una agricultura sustentable. En S. J. Sarandón (ed.), *Agroecología: El camino hacia una agricultura sustentable* (pp. 189-222). Ediciones Científicas Americanas.
72. Scherr, S. J., & McNeely, J. A. (Eds.). (2012). *Farming with nature: the science and practice of ecoagriculture*. Island Press.
73. Shackel, K. A., & Hall, A. E. (1984). Effect of intercropping on the water relations of sorghum and cowpea. *Field Crops Research*, *8*, 381-387.
74. Smith, J., Pearce, B. D., & Wolfe, M. S. (2013). Reconciling productivity with protection of the environment: Is temperate agroforestry the answer?. *Renewable Agriculture and Food Systems*, *28*(1), 80-92.

75. Somers, L. D., McKenzie, J. M., Zipper, S. C., Mark, B. G., Lagos, P., & Baraer, M. (2018). Does hillslope trenching enhance groundwater recharge and baseflow in the Peruvian Andes?. *Hydrological Processes*, 32(3), 318-331.
76. Soza, F., & Baca, P. (2012). Medidas básicas de protección ambiental.
77. Stoner, K. A. (1990). Glossy leaf wax and plant resistance to insects in Brassica oleracea under natural infestation. *Environmental Entomology*, 19(3), 730-739.
78. Tamayo Ortiz, C. V., & Alegre Orihuela, J. C. (2022). Asociación de cultivos, alternativa para el desarrollo de una agricultura sustentable. *Siembra*, 9(1).
79. Tapia, R. P., Villanelo, J. P. F., Pool, C. S., & Araya, E. M. Zanjas de infiltración.
80. Taye, G., Poesen, J., Vanmaercke, M., Van Wesemael, B., Martens, L., Teka, D., ... & Hallet, V. (2015). Evolution of the effectiveness of stone bunds and trenches in reducing runoff and soil loss in the semi-arid Ethiopian highlands. *Zeitschrift für Geomorphologie*, 59(4), 477-493.
81. Tilman D, Balzer C, Hill J, Befort BL (2011) Global food demand and the sustainable intensification of agriculture. *Proceedings of the National Academy of Sciences* ,108:20260–20264.
82. Tittonell, P. (2014). Ecological intensification of agriculture—sustainable by nature. *Current Opinion in Environmental Sustainability*, 8, 53-61.
83. Tittonell, P., Klerkx, L., Baudron, F., Félix, G. F., Ruggia, A., Van Apeldoorn, D., ... & Rossing, W. A. (2016). Ecological intensification: local innovation to address global challenges. *Sustainable Agriculture Reviews: Volume 19*, 1-34.
84. UNCTAD (2013) Least developed countries report 2013 – growth with employment for inclusive and sustainable development, 20 Nov 2013.
85. UNCTAD (2014) Economic development in Africa report 2014 – catalysing investment for transformative growth in Africa, 04 Jul 2014, 110 page(s).
86. Van Duivenbooden, N., Pala, M., Studer, C., Biolders, C. L., & Beukes, D. J. (2000). Cropping systems and crop complementarity in dryland agriculture to increase soil water use efficiency: a review. *NJAS: Wageningen Journal of Life Sciences*, 48(3), 213-236.
87. Vandermeer, J. H. (1990). Intercropping in Agroecology, eds CR Carroll, JH Vandermeer & P. Rosset.
88. Vessey, J. K. (2003). Plant growth promoting rhizobacteria as biofertilizers. *Plant and soil*, 255, 571-586.
89. Vinyals, N. (2014). El compostaje en agricultura ecológica. *Fitxes tècniques PAE*. Generalitat de Catalunya.
90. Viñuela Sandoval, E., Adan del Rio, A., Rodríguez, J., Hernando Amado, S., Dorado, J., Fernández-Quintanilla, C., ... & Fereres Castiel, A. (2012). Provision of ecological infrastructures to increase pollinators and other beneficial organisms in rainfed crops in Central Spain. *IOBC/wrps Bull.*, 79, 113-119.
91. West, T. O., & Post, W. M. (2002). Soil organic carbon sequestration rates by tillage and crop rotation: a global data analysis. *Soil Science Society of America Journal*, 66(6), 1930-1946.
92. WFP (2012, 2013) World Food Program 2012 and 2014 annual reports. World Food Program, Rome.
93. WHO (2013) World health report 2013: research for universal health coverage. World Health Organisation, Geneva.

94. Xu, B. C., Li, F. M., & Shan, L. (2008). Switchgrass and milkvetch intercropping under 2: 1 row-replacement in semiarid region, northwest China: Aboveground biomass and water use efficiency. *European Journal of Agronomy*, 28(3), 485-492.
95. Yang, Y. M., Liu, X. J., Li, W. Q., & Li, C. Z. (2006). Effect of different mulch materials on winter wheat production in desalinized soil in Heilonggang region of North China. *Journal of Zhejiang University Science B*, 7, 858-867.
96. Zapelli, F., & Guerrero, E. M. (2023). Permacultura una respuesta territorial a la crisis ambiental basada en el conocimiento ecológico local en Tandil, Argentina: Permaculture as a territorial response environmental crisis based on local ecological knowledge, in Tandil, Argentina. *Revista Estudios Ambientales-Environmental Studies Journal*, 11(1), 57-71.
97. Zhang, B., Li, Y., Ren, T., Tian, Z., Wang, G., He, X., & Tian, C. (2014). Short-term effect of tillage and crop rotation on microbial community structure and enzyme activities of a clay loam soil. *Biology and fertility of soils*, 50, 1077-1085.
98. Zhu, Y., Chen, H., Fan, J., Wang, Y., Li, Y., Chen, J., ... & Mundt, C. C. (2000). Genetic diversity and disease control in rice. *Nature*, 406(6797), 718-722.