

**MODELO EXTENSIVO
REGENERATIVO
SINTRÓPICO**

Alfredo Juan Cafferata

PRESENTACIÓN

El desafío central de la agricultura moderna ya no es simplemente maximizar los rendimientos, sino maximizar la resiliencia. A lo largo de mi carrera, he enfatizado que el Carbono Orgánico del Suelo (COS) es el motor fundamental de los ecosistemas agrícolas. Sin embargo, en los sistemas de producción a gran escala en América del Sur y en el resto del mundo, el rápido agotamiento del COS y la disrupción de los ciclos hidrológicos locales han generado sistemas estructural y financieramente frágiles, excesivamente dependientes de insumos sintéticos costosos y altamente vulnerables a los extremos climáticos.

Para alimentar el futuro, debemos transitar de sistemas dependientes de la química hacia modelos biológicos basados en el concepto de «producir más con menos». Sin embargo, debe respetarse la «Ley de la Devolución»: todo lo que se extrae de la naturaleza debe ser retornado al mismo sitio, de una forma u otra. Esto exige operacionalizar los principios ecológicos a escala.

La publicación del Modelo Extensivo Regenerativo Sintrópico (MERS) representa un paso decisivo en esta transición. Este manual ofrece exactamente lo que los productores de gran escala y los agrónomos necesitan con urgencia: un marco científicamente sólido y económicamente viable para el cambio sistémico. Redefine con acierto el suelo no como un sustrato inerte, sino como el principal activo de capital de la explotación.

Lo que hace que el MERS sea particularmente destacable es su profunda comprensión de las realidades agronómicas. Al utilizar la biodiversidad vegetal y el impacto estratégico de la ganadería como herramientas funcionales, impulsa activamente la sucesión biológica y restaura el ciclo del agua. Además, el énfasis del manual en gestionar el tiempo biológico —sincronizando la intervención humana con las ventanas de recuperación natural del ecosistema— implica un cambio de paradigma en la gestión agropecuaria.

Es fundamental destacar que los autores comprenden que, para que la agricultura regenerativa escale, debe ser financieramente viable. Al tratar la biodiversidad como un motor de estabilidad funcional, el modelo MERS demuestra cómo restaurar la salud del suelo se traduce directamente en

Capítulo 10

Pregunta: Según el MERS, ¿cómo se busca reducir la dependencia de insumos externos en el sistema productivo?

Respuesta correcta: A. Fortaleciendo progresivamente los procesos biológicos del suelo.

rentabilidad ajustada al riesgo. Reduce la volatilidad de los márgenes interanuales al proteger el sistema frente a sequías y alzas en los precios de los insumos.

Los autores han logrado traducir dinámicas ecológicas complejas en protocolos claros y accionables para sistemas extensivos. Recomiendo ampliamente esta iniciativa. Para los productores a gran escala dispuestos a reducir su riesgo sistémico y convertir sus explotaciones en sumideros de carbono, este manual es una herramienta indispensable para diseñar un futuro verdaderamente resiliente y rentable. Este libro constituirá un material de referencia de gran valor para estudiantes, investigadores, docentes, extensionistas, agroindustria, responsables de políticas públicas y el público en general interesado en la ciencia y la práctica de la agricultura regenerativa.



Rattan Lal

Distinguished University Professor of Soil Science and Director, Carbon Management and Sequestration Center, The Ohio State University

Capítulo 5

Pregunta: ¿Qué describe el término sintropía en el contexto de los ecosistemas naturales?

Respuesta correcta: A. Procesos que generan organización, complejidad y acumulación de energía.

Capítulo 6

Pregunta: Según el texto, ¿cómo evitan las plantas competir por la misma luz en ecosistemas naturales?

Respuesta correcta: A. Organizando su crecimiento en distintos niveles de altura.

Capítulo 7

Pregunta: ¿Cuál es uno de los objetivos centrales del MERS según el texto?

Respuesta correcta: A. Producir granos dentro de sistemas agrícolas que regeneren el suelo.

Capítulo 8

Pregunta: ¿Qué efecto principal tiene la materia orgánica sobre el agua en el suelo?

Respuesta correcta: A. Aumenta la capacidad de retención y mejora la infiltración.

Capítulo 9

Pregunta: Según el MERS, ¿cuál es el objetivo principal del manejo mecánico de la vegetación acompañante?

Respuesta correcta: A. Regular su tamaño sin eliminarla para evitar que compita por luz.

RESPUESTAS

Preguntas de comprensión por capítulo

Capítulo 1

Pregunta: ¿Cuál es el rol principal del productor en la agricultura extensiva regenerativa sintrópica?

Respuesta correcta: A. Diseñar y gestionar ecosistemas productivos.

Capítulo 2

Pregunta: ¿Para qué organizan los ecosistemas naturales su vegetación en distintos niveles?

Respuesta correcta: A. Para interceptar la mayor cantidad posible de radiación solar.

Capítulo 3 toma estos principios y busca adaptarlos a la agricultura extensiva.

Pregunta: ¿Qué factor determina principalmente la cantidad de vida que un ecosistema puede sostener?

Respuesta correcta: A. La cantidad de biomasa vegetal producida.

Capítulo 4

Pregunta: ¿Qué factor obligaba a las manadas de herbívoros a permanecer agrupadas y desplazarse constantemente?

Respuesta correcta: A. La presencia de predadores

PRÓLOGO

La agricultura ha sido, desde el origen de las civilizaciones, una de las actividades más determinantes para el desarrollo humano. La capacidad de producir alimentos permitió el surgimiento de las primeras ciudades, la organización de sociedades complejas y el desarrollo de las culturas que hoy conocemos. Durante gran parte de la historia, la agricultura evolucionó lentamente, apoyándose en la observación de la naturaleza y en el conocimiento acumulado por generaciones de agricultores. Sin embargo, durante el último siglo la agricultura experimentó una transformación sin precedentes.

La mecanización, el mejoramiento genético, la fertilización mineral y el desarrollo de productos fitosanitarios permitieron multiplicar la producción de alimentos a niveles que hubieran sido impensables apenas unas décadas antes. Este proceso permitió alimentar a una población mundial creciente y consolidó a la agricultura como uno de los sectores más dinámicos de la economía global. Pero junto con estos avances comenzaron a aparecer desafíos que invitan a repensar algunos aspectos del modelo productivo actual. En muchas regiones agrícolas del mundo se observan signos de deterioro de los suelos, disminución de la materia orgánica, compactación, pérdida de biodiversidad y creciente dependencia de insumos externos.

Estos fenómenos no necesariamente son consecuencia de errores individuales de manejo. En gran medida son el resultado de un modelo agrícola que se desarrolló a partir de la simplificación de los ecosistemas productivos. La agricultura moderna logró niveles extraordinarios de eficiencia operativa, pero al mismo tiempo redujo la diversidad biológica y los procesos ecológicos que caracterizan a los ecosistemas naturales. La naturaleza funciona de otra manera.

Los ecosistemas naturales capturan energía solar, generan fertilidad y sostienen diversidad biológica durante largos períodos de tiempo sin necesidad de insumos externos. Los bosques, las praderas y los humedales producen grandes cantidades de biomasa y mantienen suelos fértiles mediante complejas redes de relaciones entre plantas, microorganismos, insectos y animales. Comprender estos procesos puede abrir nuevas posibilidades para la agricultura. Durante las últimas décadas han surgido

distintas corrientes que buscan replantear la relación entre agricultura y naturaleza.

Entre ellas se encuentran la agricultura regenerativa, la agroecología y la agricultura sintrópica. La agricultura sintrópica, desarrollada por Ernst Götsch, propone diseñar sistemas agrícolas inspirados en el funcionamiento de los ecosistemas naturales, organizando la vegetación en función de la sucesión ecológica y de la estratificación vegetal. Estos sistemas han demostrado una notable capacidad para regenerar suelos y producir alimentos de manera integrada con los procesos naturales. Sin embargo, la mayoría de estas experiencias se han desarrollado en sistemas agrícolas relativamente pequeños o en producciones intensivas.

El desafío que plantea este libro es diferente. ¿Cómo trasladar estos principios a la agricultura extensiva mecanizada? La agricultura extensiva trabaja sobre grandes superficies, requiere altos niveles de eficiencia operativa y depende de tecnologías capaces de manejar grandes volúmenes de producción. Adaptar principios ecológicos a esta escala representa un desafío técnico considerable. Este libro propone explorar esa posibilidad a través de lo que denominamos Modelo Extensivo Regenerativo Sintrópico (MERS).

El MERS busca integrar conocimientos provenientes de la agricultura regenerativa, la ganadería regenerativa y la agricultura sintrópica para diseñar sistemas productivos capaces de producir alimentos mientras regeneran los procesos biológicos que sostienen la fertilidad del suelo. Uno de los conceptos centrales de este enfoque es el manejo de la arquitectura vegetal dentro de los sistemas agrícolas. En lugar de eliminar completamente la vegetación acompañante dentro de los cultivos, el modelo propone regular su tamaño y su posición dentro del sistema productivo. De esta manera, el cultivo principal mantiene su acceso a la luz mientras que las plantas acompañantes continúan aportando biomasa, cobertura y actividad biológica al suelo.

Este enfoque abre una nueva manera de pensar la agricultura extensiva. La agricultura deja de ser solamente la producción de cultivos individuales y pasa a entenderse como el diseño de ecosistemas productivos capaces de capturar energía solar, construir fertilidad y sostener la productividad en el tiempo. Al mismo tiempo, esta transición plantea nuevos desafíos

alimentos, sino que también contribuye a regenerar los ecosistemas. Los agricultores pueden transformarse en diseñadores y gestores de paisajes productivos donde la producción y la regeneración avancen juntas.

El camino hacia este tipo de sistemas no será necesariamente rápido ni sencillo. La transición requerirá observación, aprendizaje, innovación y colaboración entre productores, técnicos, investigadores y fabricantes de maquinaria. Sin embargo, cada nueva generación de agricultores ha enfrentado el desafío de adaptar sus prácticas a las condiciones de su tiempo. Hoy el desafío consiste en producir alimentos para una población creciente mientras se regeneran los sistemas naturales que sostienen esa producción.

La agricultura del futuro probablemente será aquella que logre integrar conocimiento ecológico, tecnología y visión de largo plazo. El Modelo Extensivo Regenerativo Sintrópico es una invitación a explorar esa posibilidad. No pretende ser una receta definitiva. Es una propuesta abierta, un punto de partida para seguir aprendiendo de la naturaleza y diseñando sistemas productivos capaces de evolucionar junto con ella.

Porque, al final, la agricultura no se trata solamente de producir cultivos. Se trata de cuidar la tierra que hace posible la vida.

EPÍLOGO

La agricultura del futuro

La agricultura ha acompañado a la humanidad desde el nacimiento de las primeras civilizaciones. Durante miles de años, la capacidad de producir alimentos permitió el desarrollo de ciudades, culturas y sociedades cada vez más complejas. Cada etapa de la historia agrícola estuvo marcada por nuevas herramientas, nuevos conocimientos y nuevas formas de comprender la relación entre el ser humano y la naturaleza. La agricultura moderna logró avances extraordinarios en términos de productividad y eficiencia.

Gracias a estos avances, hoy es posible alimentar a una población mundial mucho mayor que la de cualquier época anterior. Sin embargo, junto con estos avances también surgieron desafíos que invitan a repensar algunos aspectos del modelo productivo actual. La degradación de los suelos, la pérdida de biodiversidad y la creciente dependencia de insumos externos son señales que indican que el sistema agrícola necesita evolucionar hacia formas más equilibradas de producción. La naturaleza ofrece pistas valiosas para esa evolución.

Los ecosistemas naturales han demostrado durante millones de años una extraordinaria capacidad para producir biomasa, mantener suelos fértiles y sostener una enorme diversidad de vida. Comprender estos procesos no significa abandonar la agricultura moderna ni renunciar a la tecnología. Significa aprender a integrar el conocimiento ecológico con las herramientas tecnológicas disponibles para diseñar sistemas productivos más inteligentes. El Modelo Extensivo Regenerativo Sintrópico propone explorar ese camino.

Este modelo busca combinar principios provenientes de la agricultura regenerativa, de la ganadería regenerativa y de la agricultura sintrópica para diseñar sistemas agrícolas capaces de producir alimentos mientras regeneran los procesos biológicos que sostienen la fertilidad del suelo. En lugar de intentar dominar completamente la naturaleza, este enfoque propone comprenderla mejor y trabajar en colaboración con sus procesos. La agricultura puede convertirse así en una actividad que no solo produce

tecnológicos. El manejo de sistemas agrícolas más complejos requerirá el desarrollo de nuevas herramientas y nuevas formas de mecanización capaces de regular la arquitectura vegetal dentro de los cultivos.

Esto abre una nueva etapa de innovación para la maquinaria agrícola y para el diseño de sistemas productivos. Este libro explora estos conceptos y propone una forma de integrar principios ecológicos y tecnología agrícola para avanzar hacia una agricultura extensiva más resiliente, más eficiente en el uso de la energía solar y más capaz de regenerar los procesos biológicos que sostienen la fertilidad del suelo. La agricultura siempre ha evolucionado a partir de nuevas ideas. El objetivo de este libro es contribuir a esa evolución.

CAPÍTULO 1

¿Qué es la agricultura extensiva regenerativa sintrópica?

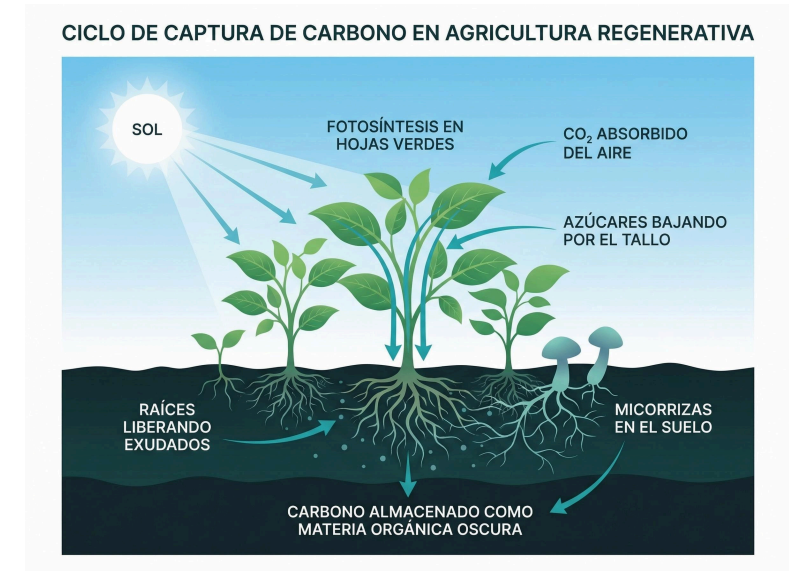
La agricultura extensiva regenerativa sintrópica es un modelo de producción que integra principios provenientes de la agricultura regenerativa, de la ganadería regenerativa y de la agricultura sintrópica, aplicados a sistemas agrícolas de gran escala. Este enfoque busca producir alimentos —principalmente cereales, oleaginosas y carne— utilizando procesos biológicos que regeneren el suelo, aumenten la biodiversidad y mejoren la estabilidad de los sistemas productivos. A diferencia de los modelos agrícolas basados principalmente en el uso de insumos externos, la agricultura extensiva regenerativa sintrópica propone diseñar sistemas productivos capaces de aprovechar los procesos naturales que ocurren en los ecosistemas. En este sentido, el productor pasa a desempeñar un rol diferente.

Ya no se trata únicamente de producir cultivos, sino de diseñar y gestionar ecosistemas productivos. El objetivo central del sistema es producir alimentos de manera económicamente viable mientras se mejora el funcionamiento biológico del suelo y se fortalece la estabilidad ecológica del sistema productivo. Este enfoque parte de una idea simple: la naturaleza produce fertilidad, estabilidad y abundancia sin necesidad de insumos externos. Comprender cómo funcionan esos procesos puede abrir nuevas posibilidades para la agricultura.

La agricultura como manejo de ecosistemas

Durante gran parte de la historia, la agricultura fue entendida principalmente como el manejo de cultivos individuales. Los avances tecnológicos del último siglo permitieron aumentar significativamente la productividad agrícola, pero también llevaron a simplificar los sistemas productivos. Los monocultivos, la reducción de la diversidad vegetal y el uso intensivo de insumos externos permitieron lograr altos niveles de producción, pero también generaron sistemas que dependen cada vez más

externos para sostener la producción, el sistema busca fortalecer los procesos naturales que generan fertilidad, estabilidad y resiliencia. Desde esta perspectiva, la regeneración de los suelos no es solamente un objetivo ecológico. También puede convertirse en una estrategia económica que contribuya a mejorar la estabilidad y la sostenibilidad de la actividad agrícola.



Ciclo de captura de carbono en sistemas regenerativos

Pregunta de comprensión — Capítulo 10

Según el MERS, ¿cómo se busca reducir la dependencia de insumos externos en el sistema productivo?

- A. Fortaleciendo progresivamente los procesos biológicos del suelo.
- B. Eliminando todos los insumos químicos de manera inmediata.
- C. Aumentando la inversión en maquinaria y servicios operativos.
- D. Simplificando el sistema agrícola para minimizar costos.

Diversificación de ingresos

La integración entre agricultura y ganadería también puede contribuir a diversificar las fuentes de ingresos del sistema productivo. Los cultivos extensivos pueden generar ingresos a partir de la producción de granos, mientras que la ganadería puede aportar ingresos adicionales a partir de la producción de carne o de otros productos pecuarios. Esta diversificación puede contribuir a mejorar la estabilidad económica del sistema. Además, el manejo de biomasa mediante el pastoreo puede reducir costos asociados a otras formas de manejo de la vegetación.

Construcción de capital natural

Uno de los aspectos más interesantes desde el punto de vista económico del MERS es la construcción de capital natural. La mejora de la materia orgánica del suelo, la estructura del suelo y la actividad biológica representa una forma de acumulación de capital dentro del sistema productivo. Los suelos más fértiles y estructuralmente estables pueden sostener niveles de productividad más altos y responder mejor frente a variaciones climáticas. Desde esta perspectiva, la regeneración del suelo puede interpretarse como una inversión de largo plazo.

Costos de transición

Es importante reconocer que la transición hacia sistemas regenerativos puede implicar desafíos durante los primeros años. Cambiar prácticas de manejo, experimentar con nuevas estrategias y aprender a interpretar el funcionamiento del sistema puede requerir tiempo. Durante esta etapa, la observación, el aprendizaje y el intercambio de experiencias entre productores pueden desempeñar un rol fundamental. La transición hacia sistemas regenerativos suele ser un proceso gradual.

Una visión de largo plazo

El Modelo Extensivo Regenerativo Sintrópico propone una visión de la agricultura basada en la construcción de sistemas productivos capaces de mejorar con el tiempo. En lugar de depender exclusivamente de insumos

de intervenciones externas para mantener su funcionamiento. La agricultura extensiva regenerativa sintrópica propone ampliar esta visión.

En lugar de entender el campo únicamente como un espacio donde se cultivan plantas, propone verlo como un ecosistema productivo donde interactúan plantas, microorganismos, animales, insectos y múltiples procesos ecológicos. Cuando estos procesos funcionan correctamente, el sistema puede generar fertilidad, estabilidad y resiliencia.

El suelo como organismo vivo

Uno de los pilares fundamentales de este modelo es la comprensión del suelo como un sistema biológico vivo. Durante mucho tiempo, el suelo fue interpretado principalmente como un soporte físico que provee nutrientes a las plantas. Sin embargo, la investigación científica de las últimas décadas ha demostrado que el suelo es uno de los ecosistemas más complejos del planeta. Un solo gramo de suelo puede contener millones de microorganismos pertenecientes a miles de especies diferentes.

Bacterias, hongos, nematodos, insectos y raíces interactúan constantemente formando redes biológicas extraordinariamente activas. Estos organismos participan en procesos fundamentales como la descomposición de la materia orgánica, el reciclaje de nutrientes, la formación de agregados del suelo y la regulación de enfermedades. Cuando la actividad biológica del suelo es alta, los procesos naturales de fertilidad se vuelven mucho más eficientes. Por esta razón, uno de los objetivos centrales del modelo regenerativo es estimular la actividad biológica del suelo.

La importancia de la energía solar

El motor de todos los ecosistemas terrestres es la energía solar. Las plantas capturan esta energía mediante la fotosíntesis y la transforman en biomasa. Esa biomasa alimenta a los herbívoros, a los microorganismos del suelo y a una enorme red de organismos que forman parte del ecosistema. Cuanta mayor cantidad de energía solar logra capturar un sistema productivo, mayor es su capacidad de generar biomasa y sostener procesos biológicos.

Los ecosistemas naturales suelen organizar su vegetación de manera que puedan interceptar la mayor cantidad posible de radiación solar. Los bosques, por ejemplo, presentan múltiples niveles de vegetación que permiten capturar diferentes intensidades de luz. La agricultura extensiva regenerativa sintrópica busca aprovechar este principio mediante el manejo de la arquitectura vegetal dentro de los sistemas agrícolas.

Producción de biomasa y regeneración del suelo

La producción de biomasa cumple un rol fundamental en los sistemas regenerativos. La biomasa vegetal se transforma en materia orgánica que alimenta a los microorganismos del suelo y mejora su estructura física. Los suelos ricos en materia orgánica presentan mayor capacidad de infiltración de agua, mejor retención de nutrientes y mayor estabilidad estructural. Esto contribuye a que los sistemas productivos sean más resilientes frente a sequías, lluvias intensas y otras variaciones climáticas.

En este sentido, el aumento de la biomasa vegetal no es solamente un objetivo ecológico, sino también una estrategia productiva.

Integración entre agricultura y ganadería

Otro componente importante de este modelo es la integración entre agricultura y ganadería. En muchos ecosistemas naturales, los herbívoros cumplen un rol clave en el ciclo de nutrientes y en la dinámica de la vegetación. El pastoreo controlado puede estimular el rebrote de las plantas, mejorar la distribución de nutrientes y aumentar la actividad biológica del suelo. Cuando se manejan adecuadamente, los animales pueden convertirse en aliados importantes para el funcionamiento del sistema productivo.

Diversidad y estabilidad

La diversidad biológica es uno de los factores que contribuyen a la estabilidad de los ecosistemas. Los sistemas con mayor diversidad de especies suelen ser más resilientes frente a perturbaciones externas. La agricultura extensiva regenerativa sintrópica busca incorporar diversidad

productivos requieren aplicaciones periódicas de fertilizantes y productos fitosanitarios para mantener los niveles de producción. Esta dependencia implica que una parte importante del valor generado por la producción agrícola se destine a la compra de insumos. Desde una perspectiva económica, reducir esta dependencia puede representar una oportunidad para mejorar la estabilidad financiera del sistema.

Procesos biológicos como fuente de fertilidad

El Modelo Extensivo Regenerativo Sintrópico propone aumentar el protagonismo de los procesos biológicos dentro del sistema productivo. La actividad biológica del suelo, la producción de biomasa, la diversidad vegetal y la integración de animales pueden contribuir a generar fertilidad dentro del sistema. Cuando estos procesos funcionan adecuadamente, parte de las funciones que en los sistemas convencionales se reemplazan mediante insumos externos pueden ser realizadas por procesos naturales. Esto no significa necesariamente eliminar todos los insumos de manera inmediata, sino reducir progresivamente la dependencia de ellos a medida que el sistema biológico del suelo se fortalece.

Reducción de riesgos

Otro aspecto importante desde el punto de vista económico es la estabilidad del sistema productivo. Los sistemas agrícolas altamente simplificados pueden ser más vulnerables frente a eventos climáticos, problemas sanitarios o fluctuaciones de precios. Los sistemas que integran diversidad vegetal, cobertura del suelo y procesos biológicos suelen presentar mayor resiliencia frente a perturbaciones externas. Esto puede traducirse en sistemas productivos más estables a lo largo del tiempo.

La estabilidad productiva es un factor económico muy relevante, especialmente en actividades agrícolas donde los riesgos climáticos son inevitables.

CAPÍTULO 10

Economía del Modelo Extensivo Regenerativo Sintrópico

Cualquier modelo agrícola, además de ser ecológicamente viable, debe ser también económicamente sostenible. La agricultura es una actividad productiva que depende de la capacidad de generar ingresos suficientes para sostener a quienes trabajan la tierra, financiar las inversiones necesarias y enfrentar los riesgos propios de la actividad. Por esta razón, uno de los desafíos más importantes del Modelo Extensivo Regenerativo Sintrópico (MERS) consiste en demostrar que es posible combinar regeneración ecológica con viabilidad económica. Lejos de ser objetivos opuestos, la regeneración de los sistemas naturales puede convertirse en uno de los factores que contribuyan a mejorar la estabilidad económica de los sistemas productivos.

Costos del modelo agrícola convencional

En muchos sistemas agrícolas modernos, una proporción importante de los costos de producción está asociada al uso de insumos externos. Fertilizantes, herbicidas, insecticidas y fungicidas representan una parte significativa del costo por hectárea en numerosos sistemas productivos. Además, estos sistemas suelen depender de una alta inversión en maquinaria, combustible y servicios operativos. Cuando los márgenes agrícolas son altos, estos costos pueden ser absorbidos sin grandes dificultades.

Sin embargo, en contextos de precios agrícolas bajos o de aumento en el costo de los insumos, la rentabilidad del sistema puede volverse más vulnerable.

Dependencia de insumos

Uno de los desafíos económicos del modelo convencional es la creciente dependencia de insumos externos. En muchos casos, los sistemas

vegetal mediante cultivos de servicio, coberturas vegetales y el manejo de plantas acompañantes dentro de los cultivos. Esta diversidad contribuye a mejorar el funcionamiento biológico del suelo y a fortalecer la estabilidad del sistema.

Un cambio en la forma de pensar la agricultura

La agricultura extensiva regenerativa sintrópica no se basa únicamente en la incorporación de nuevas prácticas agrícolas. Implica también un cambio en la forma de interpretar los sistemas productivos. En lugar de ver la naturaleza como un conjunto de factores que deben ser controlados, propone comprender los procesos naturales y diseñar sistemas agrícolas que trabajen en colaboración con ellos. Este enfoque abre nuevas posibilidades para el futuro de la agricultura.

Los capítulos siguientes exploran en mayor profundidad cómo funcionan los ecosistemas naturales y cómo estos principios pueden aplicarse al diseño de sistemas agrícolas regenerativos.

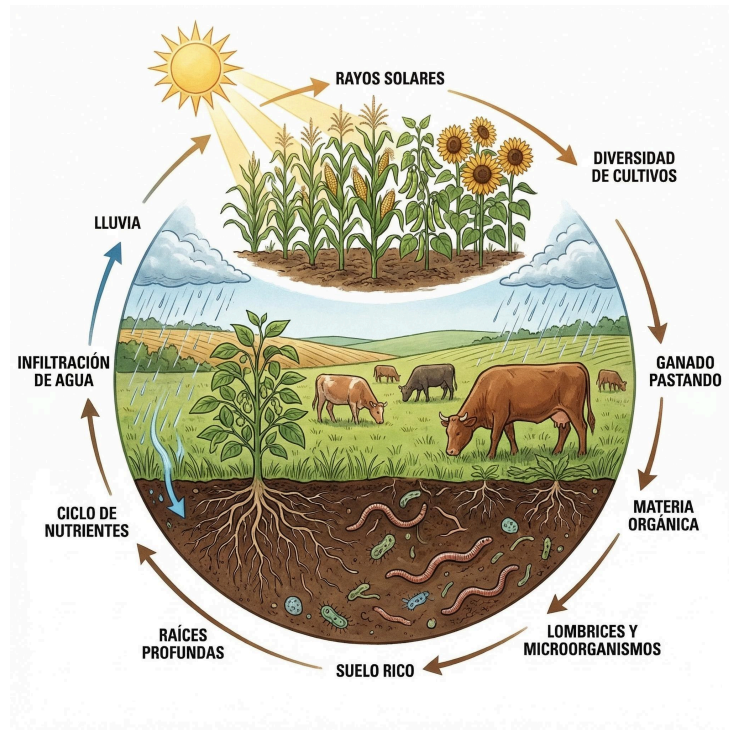


Diagrama de los principios del ecosistema agrícola regenerativo

Pregunta de comprensión — Capítulo 9

Según el MERS, ¿cuál es el objetivo principal del manejo mecánico de la vegetación acompañante?

- A. Regular su tamaño sin eliminarla para evitar que compita por luz.
- B. Eliminarla completamente para que el cultivo principal crezca sin competencia.
- C. Facilitar la aplicación precisa de herbicidas y fertilizantes químicos.
- D. Extraerla de raíz para evitar la actividad biológica en el suelo.

Pregunta de comprensión — Capítulo 1

¿Cuál es el rol principal del productor en la agricultura extensiva regenerativa sintrópica?

- A. Diseñar y gestionar ecosistemas productivos.
- B. Maximizar la aplicación de insumos externos.
- C. Enfocarse únicamente en el manejo de cultivos individuales.
- D. Simplificar el sistema mediante el uso de monocultivos.

La observación de los cultivos, la identificación de problemas y la búsqueda de soluciones prácticas pueden convertirse en motores de innovación tecnológica.

Oportunidades para la industria de maquinaria agrícola

La transición hacia sistemas agrícolas regenerativos también puede abrir nuevas oportunidades para los fabricantes de maquinaria agrícola. Si los sistemas productivos comienzan a incorporar mayor diversidad vegetal y nuevas formas de manejo, será necesario desarrollar herramientas capaces de trabajar en estos contextos. Esto puede dar lugar a una nueva generación de implementos agrícolas diseñados específicamente para sistemas regenerativos. Empresas de maquinaria, talleres metalúrgicos e inventores independientes podrían desempeñar un rol importante en este proceso de innovación.

Tecnología y procesos biológicos

El desarrollo de maquinaria para sistemas regenerativos no implica abandonar la tecnología. Por el contrario, implica utilizar la tecnología de manera diferente. La maquinaria puede convertirse en una herramienta que facilite la integración entre procesos biológicos y sistemas productivos. En lugar de intentar reemplazar los procesos naturales mediante insumos externos, las herramientas agrícolas pueden orientarse a estimular y gestionar esos procesos.

Agricultura del futuro

La agricultura del futuro probablemente combine conocimientos ecológicos con innovación tecnológica. Los sistemas productivos más avanzados pueden ser aquellos capaces de integrar biología, manejo del paisaje y herramientas tecnológicas de manera coherente. El Modelo Extensivo Regenerativo Sintrópico propone avanzar en esa dirección. En este contexto, la maquinaria agrícola deja de ser simplemente un instrumento para producir cultivos y pasa a convertirse en una herramienta para diseñar y gestionar ecosistemas productivos.

CAPÍTULO 2

Cómo funciona la naturaleza

Comprender cómo funciona la naturaleza es un paso fundamental para diseñar sistemas agrícolas que puedan producir alimentos de manera sostenible en el tiempo. Durante millones de años, los ecosistemas naturales han desarrollado mecanismos que les permiten capturar energía, producir biomasa, regenerar suelos y sostener una enorme diversidad de vida. Bosques, praderas y humedales producen grandes cantidades de materia orgánica sin necesidad de fertilizantes, herbicidas ni insecticidas. Estos sistemas funcionan mediante redes complejas de relaciones entre plantas, microorganismos, animales y procesos físicos.

Cuando observamos estos ecosistemas con atención, podemos encontrar principios que pueden inspirar nuevas formas de pensar la agricultura. El Modelo Extensivo Regenerativo Sintrópico parte justamente de esa observación. No intenta copiar literalmente a la naturaleza, pero sí busca comprender los procesos que permiten que los ecosistemas naturales mantengan su fertilidad y estabilidad durante largos períodos de tiempo.

El motor de los ecosistemas: la energía solar

El motor fundamental de todos los ecosistemas terrestres es la energía solar. Las plantas capturan esta energía mediante la fotosíntesis y la transforman en biomasa. La biomasa vegetal es el punto de partida de casi todas las cadenas de vida en los ecosistemas terrestres. Los herbívoros se alimentan de plantas.

Los microorganismos del suelo descomponen restos vegetales. Los predadores se alimentan de otros animales. De esta manera, la energía capturada por las plantas se distribuye a través de todo el ecosistema. Cuanta mayor cantidad de energía solar logra capturar un ecosistema, mayor es su capacidad de producir biomasa y sostener vida.

Los ecosistemas naturales suelen organizar su vegetación de forma que puedan interceptar la mayor cantidad posible de radiación solar. Los bosques, por ejemplo, presentan distintos niveles de vegetación que

permiten capturar diferentes intensidades de luz. Este principio es uno de los fundamentos de la agricultura sintrópica y también del Modelo Extensivo Regenerativo Sintrópico.

Producción de biomasa

La biomasa vegetal cumple un rol central en el funcionamiento de los ecosistemas. La materia orgánica producida por las plantas se transforma en alimento para los microorganismos del suelo y en fuente de nutrientes para las generaciones futuras de plantas. Cuando las hojas, tallos y raíces mueren o son consumidos por animales, sus restos se incorporan al suelo. Los microorganismos del suelo descomponen esta materia orgánica y liberan nutrientes que pueden ser reutilizados por las plantas.

Este proceso genera ciclos biológicos que mantienen la fertilidad del suelo. En los ecosistemas naturales, gran parte de la fertilidad del suelo se produce a partir de la acumulación y transformación de biomasa vegetal.

El suelo como sistema vivo

El suelo es uno de los sistemas biológicos más complejos del planeta. Un solo gramo de suelo puede contener millones de microorganismos pertenecientes a miles de especies diferentes. Bacterias, hongos, protozoos, nematodos, insectos y raíces interactúan constantemente formando una red biológica extraordinariamente activa. Estos organismos cumplen funciones fundamentales en el funcionamiento del ecosistema.

Participan en la descomposición de la materia orgánica, en el reciclaje de nutrientes, en la formación de agregados del suelo y en la regulación de enfermedades. Las raíces de las plantas liberan compuestos orgánicos que alimentan a muchos de estos microorganismos. A cambio, algunos de ellos facilitan la disponibilidad de nutrientes para las plantas. Esta relación de cooperación entre plantas y microorganismos es uno de los motores de la fertilidad natural del suelo.

Como se explicó en capítulos anteriores, muchas plantas pueden coexistir dentro del sistema siempre que no compitan con el cultivo principal por la luz. Esto abre la posibilidad de manejar la vegetación mediante intervenciones mecánicas que regulen su tamaño sin eliminarla completamente. El corte o rolado de las plantas acompañantes puede mantenerlas por debajo del nivel de interceptación de luz del cultivo principal.

De esta manera, estas plantas continúan aportando biomasa, cobertura y actividad biológica al suelo sin interferir significativamente con el cultivo.

Nuevas herramientas para nuevos sistemas

El desarrollo de herramientas capaces de manejar la arquitectura vegetal dentro de los cultivos puede representar una nueva frontera tecnológica para la maquinaria agrícola. Entre las posibilidades que comienzan a explorarse se encuentran implementos capaces de trabajar dentro de los entresucos de los cultivos. Estos equipos podrían incorporar rodillos, cuchillas u otros mecanismos destinados a controlar el tamaño de las plantas acompañantes. La posibilidad de ajustar el peso, el diámetro o la presión de estos elementos permitiría adaptar el manejo a distintos tipos de vegetación y a diferentes momentos del desarrollo del cultivo.

Este tipo de herramientas permitiría manejar sistemas agrícolas más diversos sin recurrir necesariamente a la eliminación completa de la vegetación.

Innovación impulsada por la observación del campo

Muchas innovaciones tecnológicas en la agricultura han surgido a partir de la observación directa del campo. Cuando los productores comienzan a experimentar con nuevas formas de manejo, suelen aparecer necesidades que no pueden resolverse con las herramientas existentes. En estos casos, la creatividad y la experimentación pueden conducir al desarrollo de nuevas soluciones. El manejo de la arquitectura vegetal dentro de sistemas agrícolas regenerativos puede generar justamente este tipo de desafíos.

CAPÍTULO 9

Maquinaria para la agricultura extensiva regenerativa sintrópica La evolución de la agricultura siempre estuvo acompañada por el desarrollo de nuevas herramientas. Desde los primeros arados hasta las modernas sembradoras y cosechadoras, la maquinaria agrícola ha sido uno de los principales motores de transformación de los sistemas productivos. Durante el último siglo, gran parte de la innovación en maquinaria agrícola se orientó a aumentar la eficiencia operativa y a facilitar la aplicación de insumos. Pulverizadoras cada vez más precisas, sembradoras de mayor capacidad y sistemas de fertilización más eficientes permitieron sostener el modelo agrícola basado en la aplicación de productos externos.

Sin embargo, si la agricultura comienza a orientarse hacia sistemas regenerativos inspirados en procesos naturales, también será necesario desarrollar nuevas herramientas capaces de manejar sistemas agrícolas más complejos. El Modelo Extensivo Regenerativo Sintrópico propone justamente abrir este campo de innovación.

Un cambio en el rol de la maquinaria agrícola

En los sistemas agrícolas convencionales, muchas de las herramientas disponibles están diseñadas para simplificar el sistema productivo. La pulverización de herbicidas, por ejemplo, tiene como objetivo eliminar la vegetación acompañante para que el cultivo principal crezca sin competencia. En un sistema que busca integrar procesos biológicos, el rol de la maquinaria puede cambiar significativamente. En lugar de eliminar completamente la vegetación acompañante, el objetivo puede pasar a ser regular su tamaño y su posición dentro del sistema productivo.

Esto implica un cambio conceptual importante. La maquinaria deja de ser solamente una herramienta para aplicar insumos y pasa a convertirse en una herramienta para gestionar ecosistemas productivos.

Manejo mecánico de la vegetación

Uno de los desafíos más interesantes dentro del enfoque del MERS es el manejo de la vegetación acompañante dentro de los cultivos extensivos.

El ciclo del agua

El agua es otro elemento fundamental en el funcionamiento de los ecosistemas. Los suelos ricos en materia orgánica presentan una mayor capacidad de infiltración y retención de agua. La cobertura vegetal protege el suelo del impacto directo de la lluvia y reduce la evaporación. Las raíces de las plantas crean canales que facilitan la infiltración del agua hacia capas más profundas del suelo.

De esta manera, los ecosistemas con buena cobertura vegetal y alta actividad biológica suelen manejar el agua de forma mucho más eficiente. Estos procesos tienen una gran importancia en regiones agrícolas donde las lluvias pueden ser irregulares o concentrarse en períodos cortos.

Diversidad y estabilidad

La diversidad biológica es una de las características más importantes de los ecosistemas naturales. Los sistemas con mayor diversidad de especies suelen ser más estables frente a perturbaciones externas. Cuando existen muchas especies diferentes, las funciones ecológicas se distribuyen entre distintos organismos. Si una especie disminuye, otras pueden cumplir funciones similares.

Esto hace que el sistema sea más resiliente frente a cambios ambientales. En los sistemas agrícolas simplificados, donde suele predominar una sola especie vegetal, estos mecanismos de regulación natural se reducen significativamente.

Ecosistemas en evolución

Los ecosistemas naturales no son sistemas estáticos. A lo largo del tiempo evolucionan hacia sistemas cada vez más complejos mediante procesos conocidos como sucesión ecológica. Las primeras especies que colonizan un ambiente suelen ser plantas de crecimiento rápido que protegen el suelo y producen biomasa. Posteriormente aparecen especies de mayor tamaño y mayor longevidad que estructuran el ecosistema.

Este proceso conduce gradualmente hacia sistemas más complejos y estables. La agricultura sintrópica desarrollada por Ernst Götsch se inspira

en estos procesos de sucesión ecológica para diseñar sistemas agrícolas productivos. El Modelo Extensivo Regenerativo Sintrópico toma estos principios y busca adaptarlos a la agricultura extensiva.

Aprender de la naturaleza

Durante gran parte de la historia reciente, la agricultura se desarrolló intentando simplificar los ecosistemas para facilitar el manejo de los cultivos. Sin embargo, la naturaleza muestra que la fertilidad, la estabilidad y la productividad pueden surgir de sistemas biológicos complejos. Comprender estos procesos abre nuevas posibilidades para la agricultura. La agricultura del futuro puede evolucionar desde sistemas que intentan controlar completamente la naturaleza hacia sistemas que aprenden a trabajar con los procesos naturales.

Los capítulos siguientes exploran cómo estas relaciones ecológicas se organizan dentro de las cadenas tróficas y cómo pueden aplicarse al diseño de sistemas agrícolas regenerativos.

controlar el agua, sino integrarla dentro del funcionamiento ecológico del paisaje productivo.

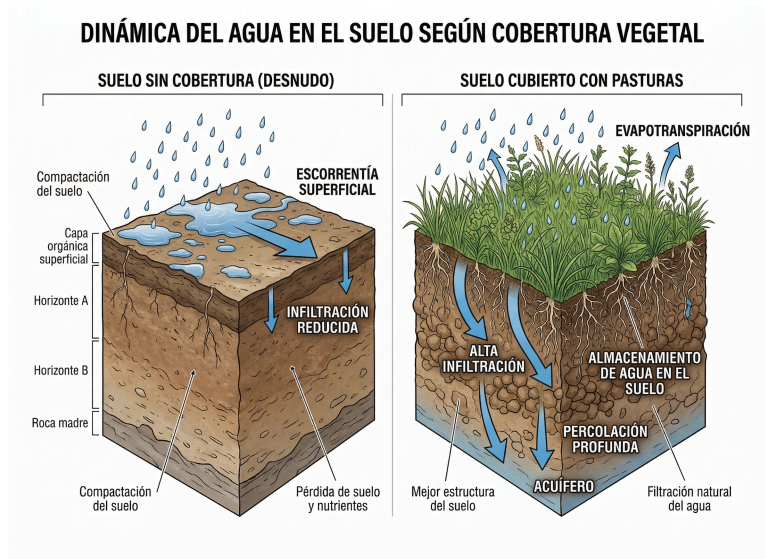
Paisajes productivos y regenerativos

Cuando se combinan suelos biológicamente activos, cobertura vegetal permanente y un diseño adecuado del paisaje, los sistemas agrícolas pueden mejorar significativamente su capacidad para manejar el agua. Esto puede traducirse en sistemas productivos más resilientes, capaces de sostener su productividad incluso en condiciones climáticas variables. El Modelo Extensivo Regenerativo Sintrópico propone avanzar hacia este tipo de paisajes productivos, donde la producción agrícola y el funcionamiento ecológico del territorio se integren de manera armónica.

Pregunta de comprensión — Capítulo 8

¿Qué efecto principal tiene la materia orgánica sobre el agua en el suelo?

- A. Aumenta la capacidad de retención y mejora la infiltración.
- B. Acelera el drenaje superficial para permitir el uso de maquinaria.
- C. Impermeabiliza las capas profundas para evitar la escorrentía.
- D. Evapora el excedente hídrico hacia la atmósfera rápidamente.



Infiltración del agua en suelos con y sin cobertura vegetal

evaporación y contribuye a mantener una temperatura más estable en la superficie del suelo.

Dentro del enfoque del MERS, mantener cobertura vegetal durante la mayor parte del año es una de las estrategias más importantes para mejorar el funcionamiento hidrológico del sistema.

Agua y resiliencia climática

El manejo del agua adquiere una importancia creciente en un contexto de variabilidad climática. Los sistemas agrícolas que dependen exclusivamente de las lluvias pueden ser vulnerables a períodos de sequía o a lluvias intensas concentradas en poco tiempo. Los suelos con buena estructura, alta materia orgánica y cobertura vegetal permanente suelen manejar mejor estas variaciones. La infiltración eficiente del agua permite aprovechar mejor los eventos de lluvia, mientras que la capacidad de almacenamiento del suelo ayuda a sostener la producción durante períodos secos.

Desde esta perspectiva, el manejo regenerativo del suelo puede considerarse también una estrategia de adaptación frente a la variabilidad climática.

Integración con el Modelo Extensivo Regenerativo Sintrópico

El manejo del agua dentro del MERS se basa en la integración de varios principios:

- aumento de la materia orgánica del suelo
- cobertura vegetal permanente
- diversidad vegetal
- diseño del paisaje inspirado en Keyline

Estos elementos trabajan de manera conjunta para mejorar el funcionamiento hidrológico del sistema. El objetivo no es simplemente

Pregunta de comprensión — Capítulo 2

¿Para qué organizan los ecosistemas naturales su vegetación en distintos niveles?

- A. Para interceptar la mayor cantidad posible de radiación solar.
- B. Para evitar que los herbívoros consuman la biomasa vegetal.
- C. Para disminuir la actividad de los microorganismos del suelo.
- D. Para reducir la producción de materia orgánica en exceso.

CAPÍTULO 3

Las cadenas tróficas y las relaciones entre los organismos

En los ecosistemas naturales, los organismos no viven de manera aislada. Cada especie forma parte de una red compleja de relaciones que conecta plantas, microorganismos, insectos, animales y predadores. Estas redes se conocen como cadenas tróficas o redes alimentarias. A través de ellas circula la energía que originalmente proviene del sol y que es capturada por las plantas mediante la fotosíntesis.

Comprender estas relaciones es fundamental para entender cómo funcionan los ecosistemas naturales y por qué son capaces de sostener altos niveles de fertilidad y estabilidad durante largos períodos de tiempo. Cuando observamos la naturaleza desde esta perspectiva, resulta evidente que la vida se organiza como una red de interacciones donde cada organismo cumple una función. Estas relaciones no solo determinan qué organismos se alimentan de otros, sino que también regulan procesos fundamentales del ecosistema, como el reciclaje de nutrientes, la formación de suelos y el equilibrio entre especies.

Las plantas como base de la vida

En casi todos los ecosistemas terrestres, las plantas ocupan la base de las cadenas tróficas. Las plantas poseen una capacidad única: pueden capturar energía solar y transformarla en materia orgánica mediante la fotosíntesis. Esta materia orgánica constituye la base energética que sostiene a todos los demás organismos del ecosistema. Herbívoros, insectos, microorganismos del suelo y muchos otros organismos dependen directa o indirectamente de la energía capturada por las plantas.

Por esta razón, la cantidad de vegetación presente en un ecosistema determina en gran medida la cantidad de vida que ese sistema puede sostener. Cuanta mayor biomasa vegetal produce un sistema, mayor es su capacidad de sostener biodiversidad y actividad biológica.

El suelo como reservorio de agua

La materia orgánica del suelo desempeña un rol fundamental en la retención de agua. Los suelos con altos niveles de materia orgánica pueden almacenar grandes cantidades de agua dentro de su estructura. Esto ocurre porque la materia orgánica mejora la agregación del suelo y aumenta su capacidad de retención. Además, la actividad biológica del suelo crea canales y poros que facilitan la infiltración del agua hacia capas más profundas.

De esta manera, el suelo actúa como un reservorio que almacena agua y la libera gradualmente a medida que las plantas la necesitan. Desde esta perspectiva, mejorar la materia orgánica del suelo no solo aumenta la fertilidad, sino que también mejora el funcionamiento hidrológico del sistema productivo.

Diseño del paisaje

El manejo del agua también depende de la forma en que el paisaje está organizado. Las pendientes, las depresiones naturales y las líneas de escurrimiento influyen en la forma en que el agua se mueve dentro del territorio. Comprender estas dinámicas permite diseñar sistemas productivos que aprovechen mejor el agua disponible. Uno de los enfoques más conocidos en este campo es el diseño Keyline, desarrollado por P.

A. Yeomans. El sistema Keyline propone utilizar la topografía del terreno para distribuir el agua de manera más uniforme dentro del paisaje. Mediante el uso de curvas de nivel y prácticas de manejo adecuadas, es posible favorecer la infiltración del agua y reducir la escorrentía.

Este enfoque busca que el agua permanezca más tiempo dentro del sistema productivo en lugar de abandonarlo rápidamente.

Cobertura vegetal y agua

La cobertura vegetal cumple un rol fundamental en el manejo del agua. Las plantas protegen el suelo del impacto directo de las gotas de lluvia, reduciendo la compactación y la erosión. Las raíces crean canales que facilitan la infiltración del agua. Además, la cobertura vegetal reduce la

CAPÍTULO 8

Manejo del agua y diseño del paisaje

El agua es uno de los factores más determinantes en el funcionamiento de los ecosistemas terrestres y también en los sistemas agrícolas. La disponibilidad de agua, su distribución en el paisaje y su interacción con el suelo influyen profundamente en la productividad de los sistemas agrícolas. Sin embargo, durante mucho tiempo el manejo del agua en la agricultura se interpretó principalmente desde una perspectiva hidráulica o de drenaje. En muchos casos, el objetivo principal fue evacuar el agua excedente lo más rápidamente posible para permitir el ingreso de maquinaria y la implantación de cultivos.

Si bien el drenaje puede ser necesario en determinadas situaciones, esta visión no siempre considera el rol que el agua cumple dentro del funcionamiento ecológico del paisaje. El Modelo Extensivo Regenerativo Sintrópico propone interpretar el agua desde una perspectiva más amplia, integrando principios ecológicos y de diseño del paisaje.

El agua en los ecosistemas naturales

En los ecosistemas naturales, el agua forma parte de ciclos complejos que involucran el suelo, la vegetación y la atmósfera. Cuando la lluvia llega a un ecosistema con buena cobertura vegetal, gran parte del agua se infiltra en el suelo. Las raíces de las plantas, la materia orgánica y la actividad biológica del suelo crean una estructura porosa que facilita la infiltración. Una vez dentro del suelo, el agua puede almacenarse y quedar disponible para las plantas durante períodos prolongados.

Este proceso contribuye a estabilizar el funcionamiento del ecosistema frente a períodos de sequía. En cambio, cuando los suelos presentan baja cobertura vegetal o estructura degradada, una mayor proporción del agua de lluvia se pierde por escorrentía superficial. Esto puede generar erosión del suelo y pérdida de nutrientes.

El mundo invisible del suelo

Debajo de la superficie del suelo existe un universo biológico extraordinariamente activo. Bacterias, hongos, nematodos, protozoos y una enorme diversidad de microorganismos interactúan constantemente con las raíces de las plantas. Estos organismos cumplen funciones esenciales en el funcionamiento del ecosistema. Participan en la descomposición de la materia orgánica, en el reciclaje de nutrientes y en la formación de la estructura del suelo.

Muchos de estos microorganismos establecen relaciones simbióticas con las plantas. Las raíces liberan compuestos orgánicos que alimentan a bacterias y hongos del suelo. A cambio, estos microorganismos facilitan la disponibilidad de nutrientes para las plantas. Uno de los ejemplos más conocidos de esta cooperación es la relación entre las raíces de las plantas y los hongos micorrízicos, que amplían la capacidad de las plantas para explorar el suelo y absorber nutrientes.

Estas relaciones constituyen uno de los pilares de la fertilidad natural del suelo.

Insectos y equilibrio biológico

Los insectos son uno de los grupos más diversos de organismos en los ecosistemas terrestres. En la agricultura suelen ser percibidos principalmente como plagas, pero en los ecosistemas naturales los insectos cumplen una enorme variedad de funciones. Muchos insectos participan en la polinización de las plantas, permitiendo la reproducción de numerosas especies vegetales. Otros actúan como descomponedores de materia orgánica o como consumidores de restos vegetales.

Existen también insectos herbívoros que se alimentan de plantas, así como insectos predadores que se alimentan de otros insectos. Estas relaciones generan un equilibrio dinámico dentro del ecosistema. Cuando aumenta la población de un insecto herbívoro, suelen aumentar también los organismos que se alimentan de él. De esta manera, los ecosistemas naturales desarrollan mecanismos de regulación biológica que contribuyen a la estabilidad del sistema.

Aves y predadores

Las aves, reptiles, anfibios y pequeños mamíferos también forman parte de estas redes ecológicas. Muchas especies de aves se alimentan de insectos y cumplen un rol importante en el control de poblaciones. Otros predadores se alimentan de roedores u otros animales que forman parte del ecosistema. La presencia de estos organismos contribuye a regular las poblaciones dentro del sistema y forma parte de los mecanismos de autorregulación de los ecosistemas naturales.

Cuando estas redes ecológicas están completas, los ecosistemas suelen mantener un equilibrio dinámico que evita que una sola especie se vuelva dominante.

Ecosistemas simplificados y desequilibrios

Cuando los sistemas agrícolas se simplifican excesivamente, muchas de estas relaciones desaparecen. Los monocultivos reducen la diversidad vegetal y, como consecuencia, disminuyen también la diversidad de insectos, microorganismos y predadores. Cuando estas redes ecológicas se debilitan, el sistema pierde parte de su capacidad de autorregulación. En estas condiciones, algunas especies pueden multiplicarse rápidamente y generar desequilibrios que luego requieren intervenciones externas para ser controlados.

Muchos de los problemas sanitarios que aparecen en los sistemas agrícolas pueden interpretarse como una consecuencia de esta simplificación ecológica.

Recuperar las redes ecológicas

Los enfoques agrícolas inspirados en la ecología buscan recuperar parte de estas relaciones naturales. La diversidad vegetal, la presencia de cobertura permanente del suelo, la integración de animales y la reducción de disturbios en el suelo pueden favorecer la reaparición de muchas de estas interacciones biológicas. A medida que estas redes ecológicas se fortalecen, los sistemas agrícolas pueden ganar estabilidad y resiliencia. La agricultura

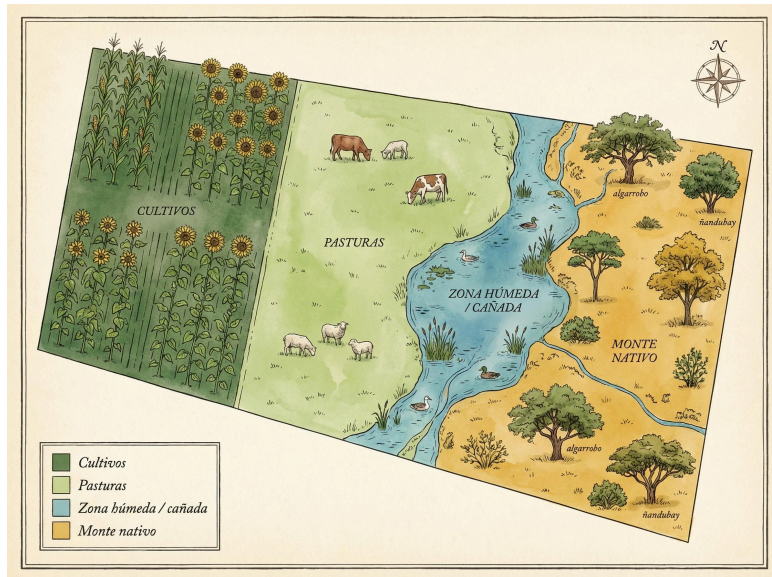
Pregunta de comprensión — Capítulo 7

¿Cuál es uno de los objetivos centrales del MERS según el texto?

- A. Producir granos dentro de sistemas agrícolas que regeneren el suelo.
- B. Eliminar el uso de maquinaria en las grandes superficies productivas.
- C. Mantener el suelo descubierto para capturar más energía solar.
- D. Reemplazar los cereales comerciales exclusivamente por cultivos de servicio.

Innovación y aprendizaje

La adaptación de principios regenerativos y sintrópicos a la agricultura extensiva representa un campo abierto de innovación. Muchas de las prácticas que forman parte de este enfoque continúan evolucionando a partir de la experiencia práctica y del intercambio entre productores, técnicos e investigadores. El MERS no pretende ser una receta fija, sino un marco conceptual que permita diseñar sistemas productivos inspirados en los procesos naturales. En los capítulos siguientes se explorarán otros aspectos clave para el desarrollo de estos sistemas, incluyendo el manejo del agua en el paisaje agrícola y el desarrollo de nuevas herramientas para la agricultura regenerativa.



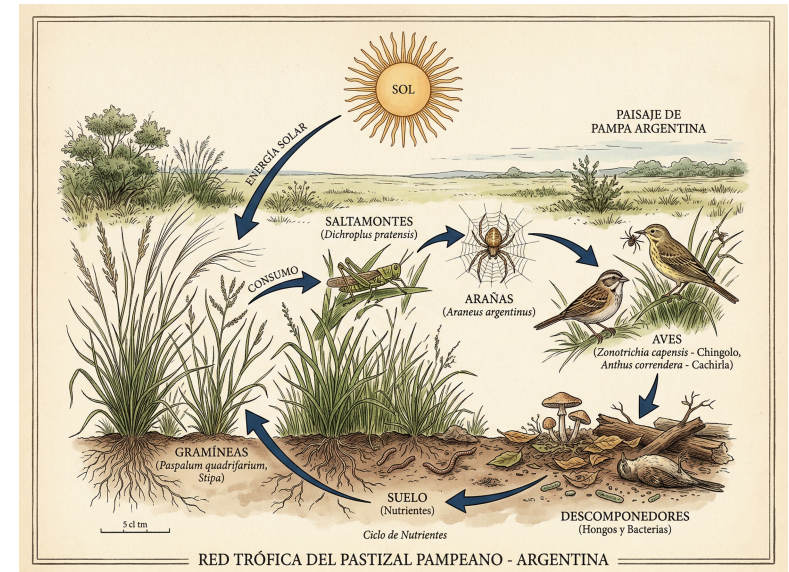
Zonificación del campo: cultivos, pasturas, monte y zonas húmedas

extensiva regenerativa sintrópica propone diseñar sistemas productivos que integren estas relaciones ecológicas dentro del funcionamiento del campo.

El agricultor como gestor de ecosistemas

Cuando comprendemos el funcionamiento de las cadenas tróficas, la agricultura comienza a verse desde una perspectiva diferente. Un campo agrícola no es solamente un lugar donde crece un cultivo. Es un ecosistema donde interactúan plantas, microorganismos, insectos, aves y muchos otros organismos. El desafío de la agricultura del futuro puede consistir en diseñar sistemas productivos que no eliminen estas relaciones ecológicas, sino que las integren dentro del funcionamiento del sistema agrícola.

En este contexto, el productor pasa a desempeñar un rol diferente. Además de producir alimentos, se convierte en gestor de un ecosistema productivo.



Red trófica en un campo argentino

Pregunta de comprensión — Capítulo 3

¿Qué factor determina principalmente la cantidad de vida que un ecosistema puede sostener?

- A. La cantidad de biomasa vegetal producida.
- B. El número de predadores en la red.
- C. La cantidad de insectos herbívoros.
- D. La temperatura promedio del suelo.

Esta integración permite aprovechar algunos de los procesos que caracterizaban a los ecosistemas de pastizales naturales.

Manejo de la diversidad vegetal

La diversidad vegetal es otro elemento importante dentro del sistema. Los cultivos de servicio, las plantas acompañantes y otras especies vegetales pueden cumplir funciones complementarias dentro del sistema productivo. Algunas especies pueden producir grandes cantidades de biomasa. Otras pueden mejorar la estructura del suelo mediante sus raíces.

Otras pueden contribuir a fijar nitrógeno o a movilizar nutrientes. Cuando estas especies se integran adecuadamente dentro del sistema, pueden contribuir a mejorar el funcionamiento ecológico del campo.

Estabilidad productiva

Uno de los objetivos del MERS es aumentar la estabilidad de los sistemas productivos. Los sistemas agrícolas que dependen exclusivamente de un cultivo o de un número muy reducido de especies pueden ser más vulnerables a perturbaciones climáticas o biológicas. La incorporación de diversidad vegetal, cobertura del suelo y actividad biológica puede contribuir a mejorar la resiliencia del sistema. Esto puede traducirse en sistemas productivos más estables a lo largo del tiempo.

Un enfoque de largo plazo

La regeneración de los suelos no es un proceso instantáneo. En muchos casos requiere varios años de manejo consistente para que los cambios se vuelvan visibles. Sin embargo, los procesos biológicos que sustentan la fertilidad del suelo pueden comenzar a fortalecerse desde las primeras etapas del manejo regenerativo. El Modelo Extensivo Regenerativo Sintrópico propone una transición gradual hacia sistemas productivos que integren estos procesos.

Cultivos de servicio y cobertura vegetal

Los cultivos de servicio cumplen un rol importante dentro de los sistemas regenerativos. Estas especies se siembran con el objetivo de producir biomasa, proteger el suelo y estimular la actividad biológica. Las raíces de estas plantas contribuyen a mejorar la estructura del suelo y a facilitar la infiltración de agua. Además, la biomasa producida por estos cultivos se transforma en materia orgánica que alimenta a los microorganismos del suelo.

Dentro del enfoque del MERS, los cultivos de servicio no se interpretan únicamente como una herramienta de manejo agronómico, sino como una forma de aumentar la captura de energía solar dentro del sistema productivo.

Manejo de biomasa

La biomasa vegetal es uno de los recursos más importantes dentro de los sistemas regenerativos. Cada kilogramo de biomasa producido representa energía solar capturada por el sistema. Cuando esta biomasa se incorpora al suelo, contribuye a alimentar la biología del suelo y a formar materia orgánica. Por esta razón, el manejo de biomasa se convierte en un aspecto central del sistema productivo.

En lugar de interpretar los restos vegetales como residuos, el enfoque regenerativo los interpreta como recursos que pueden contribuir al funcionamiento del sistema.

Integración de la ganadería

La integración entre agricultura y ganadería puede desempeñar un papel importante dentro del MERS. Los animales pueden contribuir al reciclaje de nutrientes y al manejo de la biomasa vegetal. El pastoreo controlado puede estimular el rebrote de las plantas y facilitar la incorporación de materia orgánica al suelo. Cuando se manejan adecuadamente, los animales pueden contribuir a mejorar la actividad biológica del suelo y a fortalecer el funcionamiento del sistema.

CAPÍTULO 4

Formación de los suelos, manadas y predadores

Para comprender plenamente cómo funcionan los sistemas agrícolas regenerativos, es necesario entender primero cómo se formaron muchos de los suelos más fértiles del planeta. Gran parte de las regiones agrícolas más productivas del mundo —incluyendo las grandes praderas de América del Norte, la Pampa húmeda de Sudamérica y las estepas euroasiáticas— se desarrollaron bajo ecosistemas dominados por pastizales. Estos ecosistemas no estaban formados únicamente por plantas. Eran sistemas dinámicos en los que interactuaban grandes manadas de herbívoros, predadores y una enorme diversidad de organismos del suelo.

Durante miles de años, estas interacciones contribuyeron a la formación de suelos profundos y ricos en materia orgánica. Comprender este proceso permite interpretar de manera diferente el rol que pueden cumplir los animales dentro de los sistemas productivos.

Las grandes praderas del mundo

Antes del desarrollo de la agricultura moderna, muchas de las regiones que hoy constituyen grandes áreas agrícolas estaban cubiertas por extensos pastizales naturales. Estos ecosistemas estaban dominados por gramíneas perennes adaptadas al pastoreo de grandes herbívoros. En América del Norte, enormes manadas de bisontes recorrían las praderas. En África, las sabanas estaban habitadas por grandes poblaciones de herbívoros como cebras, antílopes y búfalos.

En Sudamérica, los pastizales pampeanos también sustentaban comunidades de herbívoros adaptados a estos ambientes. Estos animales no permanecían en un mismo lugar durante largos períodos. Su comportamiento estaba fuertemente influenciado por la presencia de predadores. Los predadores obligaban a las manadas a permanecer agrupadas y a desplazarse constantemente.

Este patrón de movimiento generaba efectos muy importantes sobre la vegetación y el suelo.

El impacto del pastoreo

Cuando grandes manadas de herbívoros se desplazan sobre un pastizal, producen varios efectos simultáneos. En primer lugar, consumen parte de la vegetación disponible. Este consumo estimula el rebrote de muchas especies de gramíneas, que están adaptadas evolutivamente al pastoreo. En segundo lugar, el pisoteo de los animales incorpora restos vegetales al suelo, facilitando su descomposición.

En tercer lugar, los animales distribuyen nutrientes a través de sus deyecciones, lo que contribuye a la fertilización del sistema. Cuando estos procesos ocurren en forma periódica y seguidos por períodos de descanso que permiten la recuperación de la vegetación, el resultado suele ser un aumento de la producción de biomasa y de la actividad biológica del suelo.

La acumulación de materia orgánica

Uno de los factores más importantes en la formación de suelos fértiles es la acumulación de materia orgánica. En los ecosistemas de pastizales, una gran parte de la biomasa vegetal se encuentra debajo de la superficie del suelo, en forma de raíces. Las gramíneas producen sistemas radiculares extensos que se renuevan constantemente. A medida que estas raíces crecen y mueren, se incorporan al suelo como materia orgánica.

Este proceso contribuye a la formación de horizontes ricos en carbono, característicos de muchos de los suelos más productivos del planeta. La interacción entre vegetación, herbívoros y microorganismos del suelo fue uno de los factores que permitió la acumulación de grandes cantidades de materia orgánica en las praderas.

El rol de los predadores

Los predadores desempeñaron un papel fundamental en la dinámica de estos ecosistemas. Su presencia evitaba que los herbívoros permanecieran

CAPÍTULO 7

Adaptación del Modelo Extensivo Regenerativo Sintrópico a la agricultura extensiva Los capítulos anteriores exploraron algunos de los procesos fundamentales que caracterizan a los ecosistemas naturales: la captura de energía solar, la producción de biomasa, la actividad biológica del suelo, las redes tróficas y la sucesión ecológica. También se introdujeron los principios de la agricultura sintrópica y el concepto de arquitectura vegetal. El desafío que se plantea ahora es comprender cómo estos principios pueden aplicarse a la agricultura extensiva. La agricultura extensiva trabaja en condiciones muy diferentes a las de los sistemas agrícolas intensivos o de pequeña escala.

Las superficies de producción suelen ser grandes, las operaciones deben realizarse con maquinaria y los sistemas deben ser capaces de mantener niveles de productividad económicamente viables. Por esta razón, la adaptación de los principios regenerativos y sintrópicos a la agricultura extensiva requiere un enfoque específico. El Modelo Extensivo Regenerativo Sintrópico (MERS) busca justamente explorar esta posibilidad.

Producción de granos dentro de sistemas regenerativos

Uno de los objetivos centrales del MERS es demostrar que es posible producir cultivos extensivos —como maíz, soja, trigo u otros cereales— dentro de sistemas agrícolas que regeneren el suelo. Esto implica diseñar sistemas donde la producción de granos conviva con procesos que aumenten la biomasa, estimulen la actividad biológica del suelo y mantengan cobertura vegetal durante gran parte del año. En muchos sistemas agrícolas convencionales, el suelo permanece descubierto durante períodos prolongados. Desde una perspectiva ecológica, el suelo desnudo representa una pérdida de oportunidades para capturar energía solar y producir biomasa.

El MERS propone reducir al mínimo los períodos en los que el suelo permanece sin cobertura vegetal. Esto puede lograrse mediante el uso de cultivos de servicio, coberturas vegetales o vegetación acompañante manejada dentro del sistema.

Estas herramientas permitirían controlar la altura de las plantas acompañantes sin eliminarlas completamente. Este tipo de innovación podría abrir una nueva etapa en el desarrollo de maquinaria agrícola.

En lugar de enfocarse únicamente en la aplicación de insumos, las herramientas agrícolas podrían orientarse al manejo de la arquitectura vegetal dentro de los sistemas productivos. Esto representa una oportunidad importante para fabricantes de maquinaria interesados en desarrollar tecnologías alineadas con modelos agrícolas regenerativos.

Un cambio conceptual en la agricultura

El manejo de la arquitectura vegetal representa un cambio profundo en la forma de interpretar los sistemas agrícolas. La agricultura deja de ser un sistema basado exclusivamente en la eliminación de competidores y pasa a convertirse en un sistema de diseño y manejo de comunidades vegetales. Este enfoque permite aprovechar procesos naturales que ocurren en los ecosistemas y aplicarlos a sistemas productivos. El Modelo Extensivo Regenerativo Sintrópico propone explorar este camino dentro de la agricultura extensiva.

En los capítulos siguientes se analizará cómo estos principios pueden integrarse con la mecanización agrícola y con el manejo del paisaje para diseñar sistemas productivos regenerativos a gran escala.

Pregunta de comprensión — Capítulo 6

Según el texto, ¿cómo evitan las plantas competir por la misma luz en ecosistemas naturales?

- A. Organizando su crecimiento en distintos niveles de altura.
- B. Eliminando a las especies vegetales acompañantes.
- C. Compitiendo por los nutrientes del suelo superficial.
- D. Reduciendo su producción de biomasa anual.

durante demasiado tiempo en un mismo lugar. Esto generaba patrones de pastoreo más concentrados pero de corta duración, seguidos por largos períodos de descanso que permitían la recuperación de la vegetación. Este tipo de dinámica contribuyó a mantener los pastizales productivos durante largos períodos de tiempo.

Sin la presión de los predadores, los herbívoros tienden a dispersarse y a pastorear selectivamente ciertas áreas, lo que puede conducir al sobrepastoreo de algunas plantas y al subpastoreo de otras.

Interpretar estos procesos en los sistemas productivos

La comprensión de estos procesos ecológicos ha llevado a replantear el rol que puede cumplir el manejo del pastoreo en los sistemas productivos modernos. El manejo holístico del pastoreo propone imitar algunos de los patrones de movimiento que caracterizaban a las grandes manadas en los ecosistemas naturales. Mediante el uso de pastoreos de alta densidad y períodos adecuados de descanso para las plantas, es posible estimular la producción de biomasa y mejorar la actividad biológica del suelo. Cuando se manejan correctamente, los animales pueden convertirse en aliados importantes en la regeneración de los suelos.

Integración entre agricultura y ganadería

En muchos sistemas agrícolas modernos, la agricultura y la ganadería se desarrollan como actividades separadas. Sin embargo, desde una perspectiva ecológica, la integración entre ambas actividades puede generar importantes beneficios. Los animales pueden contribuir a reciclar nutrientes, incorporar biomasa al suelo y estimular el rebrote de las plantas. Cuando se integran adecuadamente dentro del sistema productivo, pueden desempeñar un rol importante en el funcionamiento biológico del suelo.

Esta integración constituye uno de los pilares de muchos enfoques regenerativos.

Suelos vivos y sistemas productivos

La formación de suelos fértiles no es un proceso rápido. En muchos casos, los horizontes ricos en materia orgánica que caracterizan a las grandes praderas se formaron a lo largo de miles de años. Sin embargo, los procesos que dieron origen a estos suelos continúan activos. Comprender estos procesos permite diseñar sistemas productivos que trabajen en colaboración con los mecanismos naturales de formación de suelos.

La agricultura regenerativa y el Modelo Extensivo Regenerativo Sintrópico buscan justamente aprovechar estos procesos para construir sistemas productivos más estables y resilientes.

Manejo de la arquitectura vegetal en la agricultura

La clave para aprovechar estos procesos en los sistemas agrícolas consiste en manejar la arquitectura vegetal del cultivo. El objetivo no es permitir que todas las plantas crezcan libremente sin control. El objetivo es regular su tamaño y su posición dentro del sistema para evitar que compitan con el cultivo principal por la luz. Cuando las plantas acompañantes se mantienen por debajo del nivel de interceptación de luz del cultivo principal, pueden coexistir dentro del sistema sin afectar significativamente la producción.

Al mismo tiempo, continúan aportando biomasa, cobertura y actividad biológica al suelo. Este enfoque cambia profundamente la forma de interpretar la presencia de vegetación dentro de los cultivos. Las plantas acompañantes dejan de ser simplemente malezas que deben ser eliminadas y pasan a convertirse en componentes potencialmente útiles dentro del sistema.

Nuevas posibilidades para la agricultura extensiva

La posibilidad de manejar la arquitectura vegetal dentro de los cultivos abre nuevas oportunidades para la agricultura extensiva. En lugar de depender exclusivamente de la eliminación de la vegetación acompañante, los sistemas productivos podrían incorporar estrategias de manejo que regulen el tamaño y la distribución de las plantas dentro del sistema. Esto permitiría mantener cobertura vegetal permanente, aumentar la producción de biomasa y estimular la actividad biológica del suelo. La aplicación de este enfoque en sistemas agrícolas extensivos requiere, sin embargo, el desarrollo de nuevas herramientas y nuevas formas de manejo.

Innovación en maquinaria agrícola

Uno de los desafíos más interesantes que plantea este enfoque es el desarrollo de herramientas capaces de regular el tamaño de las plantas acompañantes dentro de los cultivos. El Modelo Extensivo Regenerativo Sintrópico propone explorar el desarrollo de implementos agrícolas destinados a manejar la vegetación dentro de los entresurcos de los cultivos.

Cada nivel de vegetación intercepta una parte diferente de la radiación disponible.

Repensar la competencia entre plantas

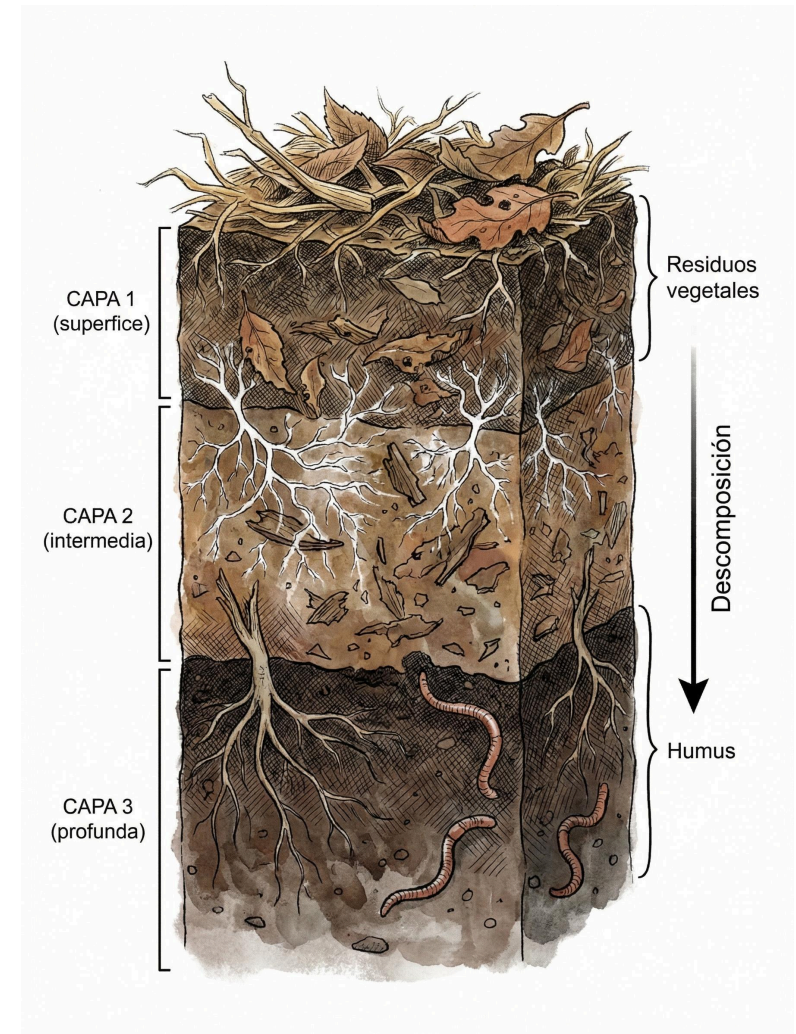
En los sistemas agrícolas convencionales, la presencia de plantas acompañantes dentro de un cultivo suele interpretarse como un problema. La lógica dominante ha sido eliminar cualquier planta que no sea el cultivo principal. Sin embargo, esta interpretación parte de una visión simplificada de las relaciones entre plantas. Las plantas pueden competir por ciertos recursos, pero también pueden coexistir y cumplir funciones complementarias dentro del sistema.

Si la competencia por la luz se maneja adecuadamente, muchas plantas pueden convivir dentro del sistema sin afectar significativamente el desarrollo del cultivo principal. En cambio, pueden aportar beneficios importantes al funcionamiento del suelo.

El suelo como espacio de cooperación

Mientras que la competencia entre plantas ocurre principalmente por la luz, el suelo puede convertirse en un espacio de cooperación biológica. Las raíces de distintas especies exploran diferentes profundidades del suelo. Algunas plantas desarrollan raíces profundas que extraen nutrientes de capas inferiores. Otras plantas concentran su sistema radicular cerca de la superficie.

Además, muchas plantas aportan biomasa al suelo mediante la renovación constante de raíces. Esta biomasa alimenta a los microorganismos del suelo y contribuye a la formación de materia orgánica. Cuando existe diversidad vegetal, el sistema radicular puede explorar el suelo de manera más completa y generar condiciones favorables para la actividad biológica. Desde esta perspectiva, la presencia de distintas especies vegetales puede contribuir a mejorar el funcionamiento del suelo.



Corte transversal del proceso de formación de humus

Pregunta de comprensión — Capítulo 4

¿Qué factor obligaba a las manadas de herbívoros a permanecer agrupadas y desplazarse constantemente?

- A. La presencia de predadores
- B. La escasez de agua superficial
- C. El cambio de las estaciones
- D. La acumulación de deyecciones

CAPÍTULO 6

Arquitectura vegetal y competencia por luz

Uno de los conceptos más importantes que surge de la observación de los ecosistemas naturales es la forma en que las plantas se organizan dentro del espacio. En la agricultura convencional, las plantas que crecen junto a un cultivo suelen interpretarse como competidoras que deben ser eliminadas. Sin embargo, cuando observamos cómo funcionan los ecosistemas naturales, aparece una interpretación diferente. Las plantas no compiten necesariamente por todos los recursos al mismo tiempo.

En muchos casos, la competencia principal entre plantas ocurre por el acceso a la luz solar. La luz es el recurso que determina la capacidad de una planta para realizar fotosíntesis y producir biomasa. Las plantas que logran acceder a la luz tienen ventaja sobre aquellas que quedan sombreadas. Este principio puede observarse claramente en los bosques.

En estos ecosistemas, muchas plantas conviven en un mismo espacio, pero se organizan en distintos niveles de altura. Algunas especies ocupan el dosel superior del bosque y reciben la mayor cantidad de luz. Otras especies crecen en niveles intermedios o cerca del suelo, adaptadas a condiciones de menor radiación. Esta organización permite que múltiples especies coexistan dentro del mismo espacio sin competir necesariamente por los mismos niveles de luz.

La arquitectura vegetal en los ecosistemas naturales

En los ecosistemas naturales, la vegetación se organiza formando estructuras complejas. Las plantas se distribuyen en distintos niveles de altura y desarrollan diferentes estrategias para capturar energía solar. Esta organización genera lo que puede llamarse arquitectura vegetal del ecosistema. Cada especie ocupa un lugar dentro de esa arquitectura.

Algunas plantas crecen rápidamente y alcanzan grandes alturas. Otras se desarrollan cerca del suelo. Otras ocupan posiciones intermedias. Esta diversidad estructural permite que el ecosistema capture grandes cantidades de energía solar.

El Modelo Extensivo Regenerativo Sintrópico busca justamente explorar esa posibilidad. En los capítulos siguientes se desarrollará cómo estos principios pueden aplicarse a la organización de la vegetación dentro de los cultivos extensivos.

Pregunta de comprensión — Capítulo 5

¿Qué describe el término sintropía en el contexto de los ecosistemas naturales?

- A. Procesos que generan organización, complejidad y acumulación de energía.
- B. La tendencia constante al desorden y la dispersión de energía.
- C. La simplificación de los ecosistemas para facilitar la producción.
- D. La competencia entre las plantas por los mismos niveles de luz.

CAPÍTULO 5

Agricultura sintrópica y sucesión ecológica

Uno de los desarrollos más interesantes dentro de las corrientes agrícolas inspiradas en la ecología es la agricultura sintrópica. Este enfoque fue desarrollado por Ernst Götsch, quien dedicó gran parte de su vida a estudiar cómo funcionan los ecosistemas naturales y cómo esos principios pueden aplicarse a la producción de alimentos. A diferencia de muchos enfoques agrícolas tradicionales, la agricultura sintrópica no intenta simplificar los ecosistemas para facilitar la producción. Por el contrario, propone diseñar sistemas agrícolas que imiten los procesos que ocurren en los ecosistemas naturales.

En particular, se basa en dos conceptos fundamentales: la sucesión ecológica y la estratificación vegetal. Estos procesos permiten que los ecosistemas naturales evolucionen hacia sistemas cada vez más complejos, productivos y estables. Comprender estos procesos permite diseñar sistemas agrícolas capaces de regenerar suelos y aumentar la producción de biomasa al mismo tiempo.

El concepto de sintropía

El término "sintropía" se utiliza para describir procesos que generan organización, complejidad y acumulación de energía dentro de los sistemas naturales. En contraste con la entropía —que describe la tendencia al desorden y la dispersión de energía— la sintropía representa procesos de construcción y organización. Los ecosistemas naturales pueden entenderse como sistemas sintrópicos. A lo largo del tiempo, estos sistemas tienden a aumentar su complejidad, su biodiversidad y su capacidad de capturar energía solar.

La agricultura sintrópica busca diseñar sistemas agrícolas que participen de estos procesos de construcción ecológica.

La sucesión ecológica

La sucesión ecológica es el proceso mediante el cual los ecosistemas evolucionan a lo largo del tiempo. Cuando un ambiente queda disponible —por ejemplo, después de un incendio, una inundación o una perturbación del suelo— las primeras especies que colonizan ese lugar suelen ser plantas de crecimiento rápido conocidas como especies pioneras. Estas plantas cumplen funciones fundamentales. Protegen el suelo, producen biomasa y crean condiciones que permiten la aparición de nuevas especies.

Con el tiempo, estas especies pioneras son reemplazadas por otras plantas de mayor tamaño y mayor longevidad. Este proceso conduce gradualmente hacia sistemas más complejos y estables. En los bosques tropicales, por ejemplo, la sucesión ecológica puede llevar al desarrollo de bosques con múltiples niveles de vegetación y gran diversidad de especies. La agricultura sintrópica busca comprender estos procesos y utilizarlos como base para diseñar sistemas productivos.

La estratificación vegetal

Otro principio fundamental observado en los ecosistemas naturales es la estratificación vegetal. En los bosques, las plantas no ocupan todas el mismo espacio ni compiten por los mismos niveles de luz. En cambio, la vegetación se organiza en diferentes niveles de altura. Existen árboles que forman el dosel superior del bosque, especies de tamaño intermedio que ocupan niveles más bajos y plantas herbáceas que crecen cerca del suelo.

Esta organización permite que el ecosistema capture grandes cantidades de energía solar. Cada nivel de vegetación intercepta una parte diferente de la radiación solar disponible. De esta manera, el sistema utiliza la energía de manera mucho más eficiente que un sistema donde todas las plantas compiten por el mismo espacio.

Producción continua de biomasa

Una característica importante de los sistemas sintrópicos es la producción continua de biomasa. En los ecosistemas naturales, las plantas crecen, producen hojas, ramas y raíces, y parte de esta biomasa se incorpora

constantemente al suelo. Este proceso alimenta a los microorganismos del suelo y contribuye a la formación de materia orgánica. La agricultura sintrópica utiliza podas y manejos de vegetación para estimular estos procesos de producción de biomasa.

Las podas no se interpretan como una pérdida de biomasa, sino como una forma de acelerar los procesos naturales de reciclaje de materia orgánica.

Cooperación entre plantas

Uno de los aspectos más interesantes de los sistemas sintrópicos es la forma en que interpretan las relaciones entre plantas. En la agricultura convencional, las plantas que crecen junto al cultivo suelen ser consideradas competidoras que deben ser eliminadas. La agricultura sintrópica propone una visión diferente. Las plantas pueden competir entre sí por ciertos recursos, pero también pueden cooperar en la construcción del suelo y en la generación de biomasa.

Cuando se organizan adecuadamente dentro del sistema, distintas especies pueden cumplir funciones complementarias. Algunas plantas producen grandes cantidades de biomasa, otras protegen el suelo, otras mejoran la estructura del suelo mediante sus raíces. Esta diversidad funcional puede contribuir a mejorar el funcionamiento del sistema productivo.

Adaptar estos principios a la agricultura extensiva

La mayoría de los sistemas de agricultura sintrópica desarrollados hasta el momento se aplicaron en producciones intensivas o en superficies relativamente pequeñas. El desafío que plantea este libro es explorar cómo estos principios pueden adaptarse a la agricultura extensiva. En los sistemas extensivos, la escala de producción, la mecanización y las necesidades operativas plantean desafíos particulares. Sin embargo, los principios ecológicos que sustentan la agricultura sintrópica pueden ofrecer ideas valiosas para el diseño de sistemas agrícolas más resilientes.