

<https://doi.org/10.69639/arandu.v12i1.672>

## Rotación de cultivos y manejo de forrajes para mejorar la fertilidad del suelo

*Crop rotation and forage management to improve soil fertility*

**Marcos Antonio Espinosa Aguilar**

[maespinosa@utmachala.edu.ec](mailto:maespinosa@utmachala.edu.ec)

<https://orcid.org/0000-0003-2608-0769>

Universidad Técnica de Machala  
Machala – Ecuador

**Darwin Alberto González Romero**

[dalgoro.sas01@gmail.com](mailto:dalgoro.sas01@gmail.com)

<https://orcid.org/0009-0008-0206-1110>

Empresa Dalgoro.SAS  
Machala – Ecuador

**Danny Xavier Romero Herrera**

[romerodanny007@gmail.com](mailto:romerodanny007@gmail.com)

<https://orcid.org/0009-0002-0320-5442>

Empresa Agrícola Romero Armijos  
Machala – Ecuador

**Jean Jorge Ludeña Pérez**

[eanjlp83@gmail.com](mailto:eanjlp83@gmail.com)

<https://orcid.org/0009-0002-6483-7144>

Empresa Bisagromat S.A  
Machala – Ecuador

**Elvis Isaac Centeno Alvear**

[elvis.centeno12@gmail.com](mailto:elvis.centeno12@gmail.com)

<https://orcid.org/0009-0007-3884-3694>

Empresa Agrota  
Machala – Ecuador

*Artículo recibido: 10 enero 2025*

*- Aceptado para publicación: 20 febrero 2025*

*Conflictos de intereses: Ninguno que declarar*

### RESUMEN

La degradación del suelo es un problema crítico en la agricultura contemporánea, afectando la productividad y la sostenibilidad de los sistemas agropecuarios. Este estudio de revisión analiza el impacto de la rotación de cultivos y el manejo de forrajes como estrategias para mejorar la fertilidad del suelo y reducir la erosión. Se realizó una búsqueda exhaustiva en bases de datos científicas para seleccionar estudios publicados entre 2020 y 2025, priorizando investigaciones empíricas sobre la relación entre estas prácticas y la calidad del suelo. Los resultados evidencian que la rotación de cultivos optimiza la estructura edáfica, la retención de nutrientes y la biodiversidad microbiana, mientras que el manejo de forrajes mejora la captura de carbono, la infiltración de agua y la estabilidad del suelo. En comparación con los sistemas convencionales,

ambas estrategias reducen significativamente la erosión del suelo y la dependencia de fertilizantes sintéticos, favoreciendo un uso más eficiente de los recursos naturales. Estudios de caso en América Latina confirman que la implementación de estas prácticas ha mejorado la resiliencia agroecológica en países como Uruguay, Argentina, Brasil y México, contribuyendo a la seguridad alimentaria y la mitigación del cambio climático. Sin embargo, persisten desafíos relacionados con el acceso a financiamiento, la capacitación técnica y la resistencia cultural al cambio. Se concluye que la promoción de políticas públicas y programas de incentivo es clave para la adopción masiva de estos enfoques.

*Palabras clave:* rotación de cultivos, manejo de forrajes, fertilidad del suelo, sostenibilidad agrícola, conservación del suelo

### ABSTRACT

Soil degradation is a critical issue in contemporary agriculture, impacting both productivity and the sustainability of agroecosystems. This review study examines the impact of crop rotation and forage management as strategies to improve soil fertility and reduce erosion. A comprehensive search was conducted in scientific databases to identify studies published between 2020 and 2025, prioritizing empirical research on the relationship between these practices and soil quality. The findings indicate that crop rotation enhances soil structure, nutrient retention, and microbial biodiversity, while forage management improves carbon sequestration, water infiltration, and soil stability. Compared to conventional systems, both strategies significantly reduce soil erosion and dependence on synthetic fertilizers, promoting a more efficient use of natural resources. Case studies in Latin America, particularly in Uruguay, Argentina, Brazil, and Mexico, confirm that the implementation of these practices has strengthened agroecological resilience, contributing to food security and climate change mitigation. However, challenges remain regarding access to financing, technical training, and cultural resistance to change. It is concluded that the promotion of public policies and incentive programs is essential for the widespread adoption of these approaches.

*Keywords:* crop rotation, forage management, soil fertility, agricultural sustainability, soil conservation

Todo el contenido de la Revista Científica Internacional Arandu UTIC publicado en este sitio está disponible bajo licencia Creative Commons Attribution 4.0 International. 

## INTRODUCCIÓN

El mantenimiento y mejora de la fertilidad del suelo es un desafío fundamental en la producción agrícola sostenible. A lo largo de las últimas décadas, el uso intensivo del suelo ha conducido a una degradación significativa de su calidad, reduciendo su capacidad de retención de nutrientes y su estructura física, lo que ha impactado negativamente en la productividad agrícola (Vandevoorde & Baret, 2023). En este contexto, la rotación de cultivos y el manejo de forrajes han sido identificados como estrategias agroecológicas clave para mejorar la fertilidad del suelo, promover la conservación de recursos naturales y aumentar la resiliencia de los agroecosistemas ante el cambio climático.

La rotación de cultivos es una práctica agrícola que consiste en alternar diferentes especies vegetales en un mismo terreno durante distintos ciclos de producción. Esta estrategia aporta múltiples beneficios al suelo, como la reducción del agotamiento de nutrientes, la interrupción de ciclos de plagas y enfermedades, la mejora de la estructura edáfica y el incremento del contenido de materia orgánica (Vandevoorde & Baret, 2023). En particular, la diversificación de secuencias de cultivos ha demostrado ser una alternativa eficaz a los monocultivos, promoviendo el balance de nutrientes en el suelo y reduciendo la dependencia de insumos químicos (Torppa & Taylor, 2022).

Por otro lado, el manejo de forrajes desempeña un papel crucial en la sostenibilidad de los sistemas agrícolas, especialmente en aquellos que combinan la producción de cultivos con la ganadería. La inclusión de cultivos forrajeros en las rotaciones agrícolas no solo proporciona alimento para el ganado, sino que también contribuye a la fijación biológica de nitrógeno, mejora la estabilidad estructural del suelo y estimula la actividad microbiana, favoreciendo la descomposición de materia orgánica y el reciclaje de nutrientes esenciales (Hassan et al., 2022). Además, prácticas como el uso de cultivos de cobertura y la implementación de sistemas de pastoreo rotacional han demostrado ser eficaces para aumentar la infiltración de agua y reducir la erosión en suelos propensos a la degradación (Opoku et al., 2024).

Desde una perspectiva agroecológica, la combinación de la rotación de cultivos con el manejo de forrajes permite la integración de diversos procesos biológicos que favorecen la estabilidad de los ecosistemas agrícolas. Un aspecto clave en este enfoque es la incorporación de leguminosas en las secuencias de cultivo, ya que estas especies son capaces de fijar nitrógeno atmosférico a través de su asociación con bacterias del género *Rhizobium*, reduciendo así la necesidad de fertilizantes sintéticos y mejorando la disponibilidad de este nutriente para cultivos subsiguientes (Sanders & White, 2023). Estudios recientes han demostrado que los sistemas de producción que combinan cultivos de cereales con leguminosas pueden aumentar la productividad agrícola en un 20–30 %, al tiempo que mejoran la eficiencia del uso del agua y reducen la emisión de gases de efecto invernadero (Bista et al., 2024).

A pesar de estos beneficios, la implementación de sistemas diversificados enfrenta múltiples desafíos. Factores como la selección adecuada de especies adaptadas a diferentes condiciones edafoclimáticas, la necesidad de conocimientos técnicos específicos y la viabilidad económica de las prácticas agrícolas sostenibles pueden limitar la adopción de la rotación de cultivos y el manejo de forrajes a gran escala (Hassan et al., 2022). Además, la transición hacia modelos de producción más sostenibles requiere políticas públicas que incentiven la adopción de estas prácticas mediante el acceso a financiamiento, programas de capacitación y estrategias de extensión agrícola.

El presente artículo tiene como objetivo revisar la literatura científica más reciente sobre los efectos de la rotación de cultivos y el manejo de forrajes en la fertilidad del suelo. Se analizarán los impactos de estas prácticas en la calidad del suelo, su relación con la reducción del uso de insumos químicos y su papel en la mitigación del cambio climático. Asimismo, se discutirán los principales desafíos y oportunidades para la adopción de estos sistemas en distintas regiones agrícolas del mundo.

## **MATERIALES Y MÉTODOS**

Este artículo de revisión se fundamenta en un análisis exhaustivo de la literatura científica disponible sobre rotación de cultivos y manejo de forrajes como estrategias para mejorar la fertilidad del suelo. La recopilación de información se realizó mediante la consulta de bases de datos académicas reconocidas, incluyendo Scopus, Web of Science, ScienceDirect y Google Scholar, con el objetivo de identificar estudios publicados entre 2020 y 2025. Se empleó una estrategia de búsqueda estructurada utilizando operadores booleanos y términos clave en inglés, tales como: ("crop rotation" OR "rotational cropping") AND ("forage management" OR "forage crops") AND ("soil fertility" OR "soil health") AND ("sustainable agriculture" OR "agroecology").

Adicionalmente, se incluyeron documentos técnicos de organismos internacionales como la FAO, así como estudios relevantes centrados en América Latina, dada la importancia de estas prácticas en sistemas agrícolas de la región. Para garantizar la calidad y relevancia de la literatura analizada, se establecieron los siguientes criterios de inclusión y exclusión:

### **Criterios de inclusión**

- Estudios que analicen el impacto de la rotación de cultivos y forrajes en la fertilidad del suelo.
- Investigaciones centradas en sostenibilidad agropecuaria y conservación del suelo en sistemas mixtos.
- Publicaciones que presenten metodologías replicables y datos cuantificables sobre la interacción entre prácticas agrícolas y salud del suelo.

## **Criterios de exclusión**

- Artículos sin datos experimentales o revisiones sistemáticas sin análisis crítico.
- Estudios que no estuvieran dentro del período de búsqueda (2020-2025).
- Investigaciones no relacionadas con la mejora de la fertilidad del suelo o que abordaran el tema desde perspectivas no agronómicas.

La selección de artículos y documentos siguió un proceso sistemático basado en la evaluación de títulos, resúmenes y contenido completo. Se aplicó una matriz de análisis comparativo para clasificar los estudios según su enfoque metodológico, alcance geográfico, variables evaluadas y hallazgos principales. Se priorizaron estudios que presentaran análisis experimentales, metaanálisis o revisiones con evidencia empírica sobre el efecto de la rotación de cultivos y el manejo de forrajes en la calidad del suelo (Vandevoorde & Baret, 2023).

Dado que este estudio es de carácter bibliográfico, se estructuró siguiendo un diseño no experimental basado en el análisis cualitativo y comparativo de la literatura científica. Se incluyeron diversas perspectivas metodológicas, desde estudios de campo hasta modelos de simulación y análisis de tendencias globales en la gestión del suelo agrícola. Para la síntesis de la información, se organizó el contenido en secciones temáticas que reflejan los principales factores que influyen en la relación entre rotación de cultivos, forrajes y fertilidad del suelo.

Los resultados de esta revisión fueron organizados y comparados con el fin de identificar tendencias, beneficios y desafíos en la implementación de estas prácticas en distintos sistemas productivos a nivel global, con un enfoque especial en América Latina, donde la necesidad de alternativas sostenibles en el manejo del suelo es una prioridad para la seguridad alimentaria y la mitigación del cambio climático (Vandevoorde & Baret, 2023).

## **RESULTADOS Y DISCUSIÓN**

### **Beneficios de la Rotación de Cultivos en la Fertilidad del Suelo**

La rotación de cultivos es una práctica agrícola esencial para mejorar la fertilidad del suelo y garantizar la sostenibilidad de los sistemas agroproductivos a largo plazo. Diversos estudios han demostrado que esta estrategia permite aumentar la disponibilidad de nutrientes, reducir la compactación del suelo y mejorar su estructura física y química (Vandevoorde & Baret, 2023).

### **Mejora de la estructura y composición del suelo**

La diversidad temporal de cultivos en un mismo terreno contribuye a la mejora de la estructura del suelo, facilitando la aireación y reduciendo la compactación. La alternancia entre especies con diferentes sistemas radiculares, como cereales de raíces fibrosas y leguminosas de raíces profundas, optimiza la porosidad del suelo y mejora su capacidad de retención de agua (Nilsson et al., 2022). Además, el uso de cultivos de cobertura en rotación aporta materia orgánica,

lo que incrementa la actividad microbiana y favorece la formación de agregados estables (Opoku et al., 2024).

### **Aporte de materia orgánica y nutrientes**

Los residuos vegetales derivados de la rotación de cultivos contribuyen al aumento del contenido de materia orgánica en el suelo. La inclusión de cultivos de leguminosas, por ejemplo, permite la fijación biológica de nitrógeno, reduciendo la necesidad de fertilizantes sintéticos y mejorando la disponibilidad de este nutriente para los cultivos siguientes (Sümmerer et al., 2025). Estudios han demostrado que la rotación con cultivos fijadores de nitrógeno puede incrementar significativamente el contenido de carbono y nitrógeno en el suelo, promoviendo su fertilidad a largo plazo (Opoku et al., 2024).

### **Reducción de la erosión y mejora de la conservación del suelo**

La rotación de cultivos, en especial cuando se combina con cultivos de cobertura, reduce significativamente la erosión del suelo al proporcionar una cobertura vegetal continua que protege contra la acción del viento y el agua. Además, esta estrategia contribuye a la estabilización del suelo mediante el desarrollo de sistemas radiculares que retienen partículas y mejoran la estructura del suelo (Hassan et al., 2022).

### **Control de plagas, enfermedades y malezas**

El monocultivo prolongado favorece la proliferación de plagas y enfermedades específicas del cultivo, lo que puede llevar al agotamiento de los suelos. En cambio, la rotación de cultivos interrumpe los ciclos de vida de estos organismos, reduciendo la presión de enfermedades y la necesidad de agroquímicos (Bommarco et al., 2022). Investigaciones han demostrado que la alternancia de cultivos con diferentes características de crecimiento y metabolismo, como cereales, leguminosas y crucíferas, limita el desarrollo de poblaciones de malezas y mejora la biodiversidad del agroecosistema (Wolka et al., 2023).

### **Aumento de la productividad y sostenibilidad agrícola**

Los sistemas de rotación de cultivos han demostrado ser más productivos a largo plazo en comparación con los monocultivos. Al mejorar la fertilidad del suelo y reducir la incidencia de plagas y enfermedades, se incrementa el rendimiento de los cultivos sin necesidad de incrementar el uso de insumos sintéticos. Estudios han demostrado que la integración de rotaciones diversificadas incrementa la eficiencia en el uso de los recursos y mejora la resiliencia de los sistemas agrícolas frente a condiciones climáticas adversas (Bista et al., 2024).

### **Manejo de Forrajes y su Impacto en la Calidad del Suelo**

El manejo de forrajes juega un papel crucial en la conservación y mejora de la calidad del suelo, especialmente en sistemas agropecuarios integrados. El uso de cultivos forrajeros en la rotación agrícola no solo proporciona alimento para el ganado, sino que también mejora la fertilidad del suelo, la retención de carbono y la actividad microbiana. Diversos estudios han demostrado que la combinación de sistemas de pastoreo con cultivos de cobertura y la integración

de leguminosas en el manejo de forrajes puede aumentar significativamente la estabilidad estructural del suelo y la eficiencia del uso de nutrientes (Kantwa et al., 2024).

### **Mejora de la Estructura y Fertilidad del Suelo**

El uso de forrajes perennes y cultivos de cobertura en los sistemas agrícolas ha demostrado mejorar la calidad del suelo al incrementar la materia orgánica y estabilizar los agregados del suelo (Hassan et al., 2022). Investigaciones realizadas en sistemas de producción con pastizales han confirmado que la introducción de forrajes en la rotación agrícola aumenta la infiltración de agua, reduce la compactación y favorece el reciclaje de nutrientes esenciales como nitrógeno y fósforo (Opoku et al., 2024).

Además, la presencia de raíces profundas en cultivos forrajeros contribuye a la mejora de la estructura del suelo, facilitando la absorción de agua en capas más profundas y promoviendo un suelo más resiliente a la erosión (Reilly et al., 2022). Se ha demostrado que el uso de gramíneas y leguminosas forrajeras ayuda a aumentar la actividad biológica del suelo, promoviendo una mayor biodiversidad microbiana y facilitando la descomposición de la materia orgánica (Hassan et al., 2022).

### **Impacto en el Ciclo de Nutrientes y la Captura de Carbono**

Uno de los principales beneficios del manejo de forrajes es su impacto en el ciclo de nutrientes y la reducción de la dependencia de fertilizantes sintéticos. Estudios han demostrado que la integración de cultivos forrajeros, especialmente leguminosas, puede fijar hasta 200 kg de nitrógeno por hectárea anualmente, aumentando la disponibilidad de este elemento para los cultivos posteriores (Reilly et al., 2022).

Los sistemas de pastoreo rotacional y la combinación de cultivos forrajeros con labranza reducida han demostrado aumentar la eficiencia del uso del nitrógeno y reducir las emisiones de óxidos de nitrógeno, contribuyendo así a la mitigación del cambio climático (Kantwa et al., 2024). La presencia de cultivos forrajeros perennes también ha sido vinculada con mayores niveles de carbono orgánico en el suelo, lo que mejora la estabilidad de los agregados y reduce la pérdida de carbono por erosión (Peltoniemi et al., 2021).

Además, la aplicación de fertilización en pasturas antes de la siembra de cultivos mejora la eficiencia en el reciclaje de nutrientes. Por ejemplo, en sistemas integrados de cultivos y ganadería, la fertilización anticipada en la fase de pastura puede reemplazar la aplicación directa de nitrógeno en cultivos de maíz, sin afectar los rendimientos, lo que demuestra una optimización del uso de fertilizantes y una reducción del impacto ambiental (Xiao et al., 2021).

### **Reducción de la Erosión y Conservación del Suelo**

El manejo adecuado de forrajes ha mostrado beneficios significativos en la reducción de la erosión del suelo, especialmente en terrenos con pendientes o con alto riesgo de degradación. Un estudio realizado en sistemas agropecuarios de América Latina encontró que la integración de

forrajes en sistemas agrícolas convencionales redujo la erosión del suelo en un 50 % en comparación con sistemas sin cobertura vegetal (Opoku et al., 2024).

Asimismo, el uso de sistemas silvopastoriles, que combinan la producción de forrajes con árboles y arbustos, ha demostrado ser una estrategia eficiente para mejorar la conservación del suelo y aumentar la productividad del sistema agropecuario (Hassan et al., 2022). Se ha observado que estos sistemas incrementan la infiltración de agua, reducen la compactación del suelo y mejoran la disponibilidad de materia orgánica (Reilly et al., 2022).

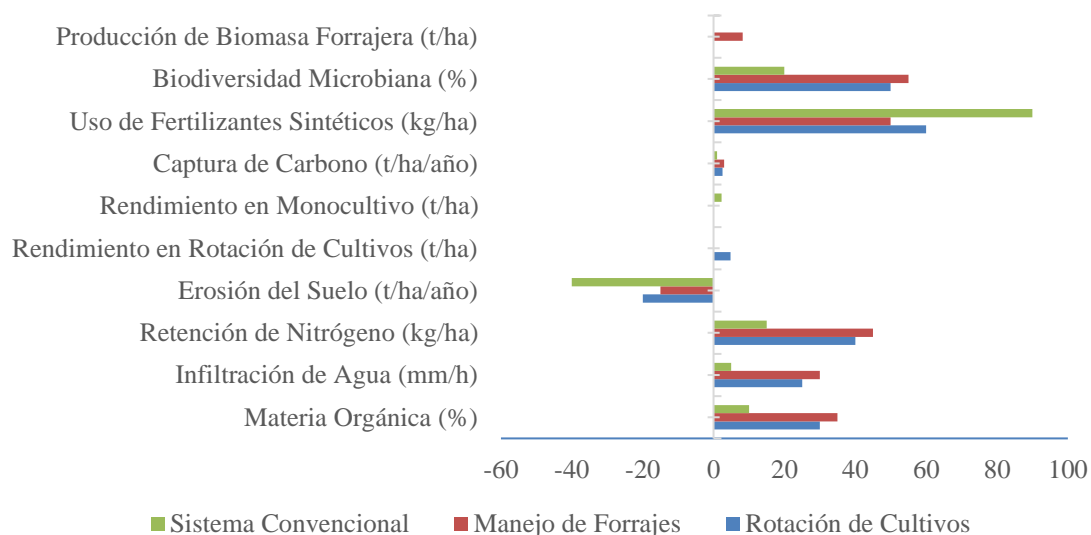
### Efecto sobre la Microbiota del Suelo y la Biodiversidad

El impacto del manejo de forrajes en la biodiversidad del suelo es otro aspecto clave. Se ha encontrado que los suelos manejados con cultivos forrajeros presentan una mayor diversidad de microorganismos, lo que mejora la descomposición de la materia orgánica y la disponibilidad de nutrientes (Opoku et al., 2024). La introducción de forrajes con raíces profundas ha mostrado beneficios en la proliferación de hongos micorrícicos arbusculares, los cuales facilitan la absorción de fósforo y otros minerales esenciales para el crecimiento de las plantas (Hassan et al., 2022).

Además, se ha demostrado que la diversificación de cultivos forrajeros con gramíneas y leguminosas mejora la estabilidad del ecosistema agrícola, promoviendo la coexistencia de especies benéficas y reduciendo la presencia de plagas y enfermedades del suelo (Reilly et al., 2022).

### Figura 1

Comparación de Indicadores de Fertilidad del Suelo y Productividad en Sistemas Agrícolas



Fuente: Elaboración propia a partir de los datos de los autores citados.

La comparación entre rotación de cultivos, manejo de forrajes y sistemas convencionales (Figura 1) evidencia que las prácticas agroecológicas mejoran la fertilidad del suelo y la sostenibilidad productiva. Los sistemas con rotación de cultivos y manejo de forrajes presentan



mayor contenido de materia orgánica (30-35%) y mejor infiltración de agua (25-30 mm/h) en comparación con sistemas convencionales, que muestran valores significativamente más bajos (10% de materia orgánica y solo 5 mm/h de infiltración). La retención de nitrógeno es más alta en sistemas diversificados (40-45 kg/ha), lo que reduce la necesidad de fertilizantes sintéticos, cuyo uso es mayor en sistemas convencionales (90 kg/ha) frente a 50-60 kg/ha en los sistemas sostenibles.

En términos de productividad agrícola, la rotación de cultivos alcanza un rendimiento de 4.8 t/ha, mientras que en monocultivos se reduce a 2.3 t/ha, confirmando que la diversificación mejora la estabilidad productiva. El manejo de forrajes impulsa la producción de biomasa (8.2 t/ha), asegurando mayor disponibilidad de alimento para el ganado. Además, los sistemas agroecológicos favorecen la captura de carbono en el suelo (2.5-3.0 t/ha/año) y aumentan la biodiversidad microbiana (50-55%), en contraste con los sistemas convencionales, donde estos valores son significativamente menores (1.0 t/ha/año de carbono y 20% de biodiversidad).

Por otro lado, la erosión del suelo es drásticamente menor en sistemas con rotación de cultivos y forrajes (-20 y -15 t/ha/año, respectivamente), mientras que en sistemas convencionales la pérdida de suelo alcanza los -40 t/ha/año, evidenciando la vulnerabilidad de estos últimos frente a la degradación edáfica.

### **Estudios de Caso y Aplicaciones en América Latina**

En América Latina, la rotación de cultivos y el manejo de forrajes han sido implementados en diversos sistemas agrícolas con el objetivo de mejorar la fertilidad del suelo, reducir la degradación y promover una agricultura más sostenible. La interacción entre cultivos, la ganadería y las prácticas agroecológicas han mostrado beneficios significativos en términos de conservación de suelos, almacenamiento de carbono y optimización del uso del agua (de Faccio Carvalho et al., 2021).

### **Sistemas de Integración Agricultura-Ganadería en el Cono Sur**

La región del Río de la Plata, que abarca Argentina, Uruguay y el sur de Brasil, ha experimentado transformaciones en el uso del suelo con un aumento en la intensificación agrícola. La especialización en cultivos comerciales ha desplazado a la ganadería hacia áreas marginales, afectando la biodiversidad y reduciendo la capacidad del suelo para sostener la producción a largo plazo. En respuesta a esta problemática, se han desarrollado sistemas integrados de cultivos y ganadería (ICLS, por sus siglas en inglés) que combinan la producción de pasturas con cultivos anuales para mejorar el reciclaje de nutrientes y la eficiencia del uso del suelo (Farias et al., 2022).

Uno de los enfoques más exitosos en la región es la integración de cultivos y ganadería en sistemas agrícolas mixtos. En países como Argentina, Brasil y Uruguay, estos sistemas han sido clave para mejorar la estructura del suelo y aumentar su contenido de materia orgánica. Un estudio en Argentina destacó que la incorporación de leguminosas forrajeras y la rotación de cultivos redujo la compactación del suelo y mejoró la infiltración de agua (Hassan et al., 2022).

Otro estudio en este mismo país, demostró que el uso de cultivos de cobertura ha sido promovido como una estrategia para mitigar la erosión del suelo y mejorar su estructura. Investigaciones en el manejo de pasturas en sistemas de producción de carne han evidenciado que la incorporación de gramíneas en la rotación de cultivos mejora la disponibilidad de nutrientes y reduce la compactación del suelo, beneficiando el crecimiento de cultivos posteriores (Momesso et al., 2022).

En Argentina, la conversión de suelos agrícolas bajo labranza convencional a sistemas de siembra directa con rotación de cultivos ha mostrado mejoras en la estructura del suelo y la eficiencia en el uso del agua. De acuerdo con Peiretti y Dumanski (2014), la adopción de estas prácticas ha reducido significativamente la pérdida de suelo por erosión y ha incrementado la biodiversidad microbiana en suelos agrícolas (Peiretti & Dumanski, 2014).

En Brasil, se ha demostrado que la integración de cultivos con ganadería incrementa el secuestro de carbono en el suelo y mejora la biodiversidad microbiana, lo que favorece la estabilidad de los ecosistemas agrícolas. Investigaciones en el Bioma Pampa han encontrado que la reducción del uso de fertilizantes sintéticos en estos sistemas no solo mejora la rentabilidad, sino que también disminuye la contaminación del agua y la emisión de gases de efecto invernadero (Opoku et al., 2024).

Otro estudio realizado también en Brasil evaluó la combinación de cultivos de cobertura con fertilización optimizada para el cultivo de maíz. Los resultados mostraron que la integración de gramíneas forrajeras, como *Urochloa brizantha* y *U. ruziziensis*, mejora el ciclo del nitrógeno en el suelo y reduce la necesidad de fertilizantes sintéticos. Además, la aplicación de fertilizantes en momentos estratégicos del ciclo de cultivo aumentó significativamente los rendimientos del maíz y mejoró la biodiversidad microbiana del suelo (Momesso et al., 2022).

En Brasil, la intensificación del uso del suelo ha generado importantes cambios en la estructura y calidad de los suelos agrícolas. Estudios han señalado que la conversión de pastizales naturales en sistemas agrícolas intensivos ha reducido la cantidad de materia orgánica en el suelo, afectando negativamente su estructura y capacidad de retención de agua (Carvalho et al., 2021). No obstante, la adopción de sistemas silvopastoriles y prácticas de rotación de cultivos ha permitido contrarrestar estos efectos negativos.

En Uruguay, el sistema de arroz-pasturas ha sido ampliamente estudiado como un modelo exitoso de integración agrícola-ganadera. En este sistema, los suelos se benefician de la alternancia entre cultivos de arroz y pasturas perennes, lo que contribuye a mantener la fertilidad y reducir la erosión. Investigaciones han evidenciado que la inclusión de gramíneas forrajeras como el raigrás y la festuca mejora la disponibilidad de nutrientes en el suelo y optimiza el uso del agua (de Faccio Carvalho et al., 2021).

Uno de los casos más estudiados es el de la integración de ovejas en sistemas agrícolas en Uruguay. Investigaciones han demostrado que la inclusión de ovinos en la rotación de cultivos

mejora la eficiencia en el uso del suelo y la fertilidad, además de generar ingresos adicionales para los productores. Estos sistemas promueven la diversificación agrícola y contribuyen a la resiliencia económica y ambiental de las explotaciones agropecuarias (Farias et al., 2022).

Según Montossi et al. (2013), la intensificación y diversificación en los sistemas pastoriles han permitido mejorar la competitividad del sector ovino en Uruguay, incrementando la eficiencia en la producción de carne y la calidad del forraje disponible, además, la implementación del sistema arroz-pasturas en la Unidad de Producción Arroz-Ganadería del INIA Treinta y Tres ha permitido mejorar la calidad del suelo mediante la alternancia entre cultivos y pasturas, lo que ha reducido la degradación edáfica y aumentado la disponibilidad de materia orgánica en el suelo.

### **Rotación de Cultivos y Conservación del Suelo en la Región Andina**

En la región andina, donde los suelos son altamente vulnerables a la erosión debido a las pendientes pronunciadas, la rotación de cultivos ha sido una estrategia fundamental para la conservación del suelo y la seguridad alimentaria. Estudios en Ecuador y Perú han demostrado que la diversificación de cultivos con especies como la quinua, la papa y leguminosas mejora la capacidad de retención de humedad y previene la degradación del suelo (Hassan et al., 2022).

El uso de cultivos de cobertura y barreras vivas en los Andes ha reducido significativamente la pérdida de suelo por escorrentía, permitiendo que los agricultores mantengan la productividad a largo plazo sin necesidad de recurrir a prácticas de laboreo intensivo. Además, el empleo de técnicas agroecológicas como la asociación de cultivos y el uso de abonos orgánicos ha favorecido la recuperación de suelos degradados (Opoku et al., 2024).

### **Manejo de Forrajes en Sistemas Agroforestales en América Latina**

El uso de sistemas agroforestales combinados con forrajes ha demostrado ser una estrategia efectiva en la recuperación de suelos degradados y el fortalecimiento de la resiliencia climática. En México y Centroamérica, la introducción de sistemas silvopastoriles ha permitido reducir la compactación del suelo, aumentar la infiltración de agua y mejorar la biodiversidad (Hassan et al., 2022).

Investigaciones en Colombia han señalado que la combinación de árboles con pasturas mejora la eficiencia del uso de nutrientes y el secuestro de carbono, generando sistemas de producción más sostenibles y con menor impacto ambiental. Se ha documentado que estos sistemas favorecen el equilibrio ecológico al proporcionar hábitats para microorganismos benéficos y mejorar la estructura del suelo (Reilly et al., 2022).

El pastoreo de ovejas en viñedos ha sido adoptado en varias regiones del mundo, incluidas áreas vitivinícolas de América Latina. Un estudio en California investigó los efectos del pastoreo en la salud del suelo en viñedos de clima mediterráneo. Se encontró que, aunque el pastoreo no aumentó significativamente la disponibilidad de carbono y nitrógeno en el suelo, sí mejoró la

estructura del suelo y redujo la emisión de gases de efecto invernadero en comparación con prácticas de labranza intensiva (Lazcano et al., 2022).

Estos hallazgos han sido replicados en regiones vitivinícolas de Argentina y Chile, donde el uso de pastoreo en cultivos de cobertura ha demostrado ser una estrategia efectiva para el manejo sostenible del suelo y la reducción de insumos químicos. La integración de ovinos en estos sistemas permite un control natural de malezas y una mejor conservación del agua en el suelo, lo que contribuye a la estabilidad productiva en condiciones climáticas variables (Lazcano et al., 2022).

Por otro lado, el uso de cultivos de cobertura en viñedos y olivares en América Latina ha sido una estrategia efectiva para mejorar la fertilidad del suelo y reducir la escorrentía superficial. En viñedos de Argentina, estudios han demostrado que la implementación de leguminosas como cultivos de cobertura ha aumentado los niveles de nitrógeno disponible en el suelo, favoreciendo el crecimiento de los cultivos principales (Soriano et al., 2023).

**Tabla 1**

*Cuadro de Impacto de la Rotación de Cultivos y el Manejo de Forrajes en América Latina*

<b>País</b>	<b>Práctica Implementada</b>	<b>Impacto en el Suelo y Producción</b>
Uruguay	Sistema arroz-pasturas	Aumento de materia orgánica, mejor retención de agua, mayor productividad ganadera.
Argentina	Siembra directa con rotación de cultivos	Reducción de erosión y compactación, incremento en la biodiversidad del suelo.
Brasil	Sistemas silvopastoriles y labranza reducida	Incremento del carbono en el suelo y reducción de la erosión.
Chile	Cultivos de cobertura en viñedos	Mayor retención de nitrógeno y reducción del uso de fertilizantes sintéticos.
México	Sistemas agroforestales con forrajes	Reducción de la compactación del suelo, aumento de la infiltración de agua y mejora de la biodiversidad.
Colombia	Integración de árboles con pasturas	Eficiencia del uso de nutrientes, aumento del secuestro de carbono y reducción del impacto ambiental.
Perú	Diversificación de cultivos en la región andina	Mejora de la retención de humedad, reducción de la degradación del suelo.
Ecuador	Barreras vivas y uso de abonos orgánicos	Reducción significativa de la escorrentía, conservación del suelo a largo plazo.

Fuente: Elaboración propia a partir de los datos de los autores citados.

En la Tabla 1 se puede observar que el impacto de la rotación de cultivos y el manejo de forrajes en América Latina varía según las estrategias implementadas en cada país. Uruguay y

Argentina han adoptado sistemas de rotación de cultivos y pasturas, lo que ha mejorado la retención de agua y reducido la erosión, favoreciendo la productividad ganadera. En Brasil y México, la implementación de sistemas silvopastoriles y agroforestales ha incrementado el almacenamiento de carbono en el suelo y la biodiversidad, promoviendo sistemas más resilientes. Chile y Colombia han fomentado el uso de cultivos de cobertura y la integración de árboles con pasturas, optimizando el uso de nutrientes y reduciendo la compactación del suelo. En la región andina, Perú y Ecuador han trabajado en la diversificación de cultivos y la conservación del suelo, logrando una disminución significativa de la escorrentía y una mejora en la fertilidad edáfica, lo que garantiza una producción sostenible a largo plazo.

### CONCLUSIONES

La revisión ha demostrado que la rotación de cultivos y el manejo de forrajes son estrategias clave para mejorar la fertilidad del suelo y promover la sostenibilidad en los sistemas agropecuarios. Ambas prácticas han mostrado efectos positivos en la estructura del suelo, la disponibilidad de nutrientes y la resiliencia de los suelos agrícolas, contribuyendo a la reducción de la degradación edáfica y a la conservación de los recursos naturales.

La rotación de cultivos se ha destacado como una alternativa eficaz para disminuir la dependencia de insumos sintéticos, mejorar la estabilidad estructural del suelo y mitigar los efectos de la erosión. La diversificación de especies dentro de un sistema productivo ha permitido optimizar la disponibilidad de nutrientes, mejorar la retención de humedad y fomentar una mayor actividad biológica del suelo. La inclusión de cultivos de cobertura y leguminosas ha sido especialmente efectiva en la fijación de nitrógeno y en la reducción de la lixiviación de nutrientes, lo que fortalece la fertilidad del suelo a largo plazo.

El manejo adecuado de forrajes ha demostrado ser una herramienta esencial para la regeneración de suelos en sistemas agrícolas integrados. La inclusión de cultivos forrajeros en la rotación ha permitido incrementar el contenido de materia orgánica, mejorar la estabilidad de los agregados del suelo y optimizar el ciclo de nutrientes. En los sistemas de producción ganadera, la implementación de pastoreo rotacional ha resultado en una reducción de la compactación del suelo y en una mayor eficiencia en la infiltración de agua, lo que ha favorecido la sostenibilidad de la producción agropecuaria.

Los estudios de caso en América Latina han evidenciado que la integración de cultivos y ganadería, así como la aplicación de sistemas agroforestales y de conservación del suelo, han generado mejoras en la productividad y en la resiliencia climática. Modelos de producción basados en la diversificación agrícola han logrado incrementar la estabilidad de los ecosistemas productivos y reducir el impacto ambiental de la agricultura intensiva. Ejemplos exitosos en Uruguay, Argentina y Brasil han confirmado que la aplicación de estas estrategias puede

garantizar una producción más eficiente y sostenible, optimizando el uso del suelo y promoviendo la seguridad alimentaria.

A pesar de los beneficios demostrados, la adopción generalizada de estos sistemas enfrenta desafíos como la falta de acceso a financiamiento, la resistencia cultural al cambio y la necesidad de mayor capacitación técnica para los productores. La promoción de políticas públicas enfocadas en la incentivación de prácticas agroecológicas, el desarrollo de tecnologías sostenibles y el fortalecimiento de redes de conocimiento entre productores será fundamental para potenciar el impacto positivo de la rotación de cultivos y el manejo de forrajes en la fertilidad del suelo.

## REFERENCIAS

- Acharya, P., Acharya, R., Bista, D., Ghimire, R., & Sapkota, S. (2024). Reducing energy and carbon footprint in semi-arid irrigated cropping systems through crop diversification. *Heliyon*, 10, e27904. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2024.e27904>
- Bista, D., Sapkota, S., Acharya, P., Acharya, R., & Ghimire, R. (2024). Reducing energy and carbon footprint in semi-arid irrigated cropping systems through crop diversification. *Heliyon*, 10, e27904. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2024.e27904>
- Bommarco, R., Nilsson, P., Hansson, H., & Kuns, B. (2022). Farm performance and input self-sufficiency increases with functional crop diversity on Swedish farms. *Ecological Economics*, 198, 107465. <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2022.107465>
- Carvalho, J. L. N., Raucci, G. S., Cerri, C. E. P., Bernoux, M., Feigl, B. J., Wruck, F. J., & Cerri, C. C. (2021). Impact of pasture, agriculture, and crop-livestock systems on soil C stocks in Brazil. *Soil Tillage Research*, 110, 175–186. <https://doi.org/10.1016/j.still.2010.07.011>
- de Faccio Carvalho, P. C., Savian, J. V., Della Chiesa, T., et al. (2021). Land-use intensification trends in the Rio de la Plata region of South America: Toward specialization or recoupling crop and livestock production. *Frontiers in Agricultural Science and Engineering*, 8(1), 97–110. <https://doi.org/10.15302/J-FASE-2020380>
- Farias, G. D., Bremm, C., Savian, J. V., Souza Filho, W., et al. (2022). Opportunities and challenges for the integration of sheep and crops in the Rio de la Plata region of South America. *Small Ruminant Research*, 215, 106776. <https://doi.org/10.1016/j.smallrumres.2022.106776>
- Hassan, H. M. H., El-Sobky, E. A. A., Mansour, E., El-Kholy, A. S. M., Awad, M. F., Ullah, H., & Datta, A. (2022). Influence of preceding crop and tillage system on forage yield and quality of selected summer grass and legume forage crops under arid conditions. *Journal of Integrative Agriculture*, 21(11), 3329–3344. <https://doi.org/10.1016/j.jia.2022.08.088>
- Kantwa, S. R., Choudhary, M., Agrawal, R. K., Dixit, A. K., Kumar, S., & Chary, G. R. (2024). Reducing energy and carbon footprint through diversified rainfed cropping systems. *Energy Nexus*, 14, 100306. <https://doi.org/10.1016/j.nexus.2024.100306>
- Lazcano, C., Gonzalez-Maldonado, N., Yao, E. H., Wong, C. T. F., et al. (2022). Sheep grazing as a strategy to manage cover crops in Mediterranean vineyards: Short-term effects on soil C, N, and greenhouse gas (N<sub>2</sub>O, CH<sub>4</sub>, CO<sub>2</sub>) emissions. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 327, 107825. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2021.107825>
- Momesso, L., Crusciol, C. A. C., Cantarella, H., Tanaka, K. S., et al. (2022). Optimizing cover crop and fertilizer timing for high maize yield and nitrogen cycle control. *Geoderma*, 405, 115423. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2021.115423>

- Montossi, F., De Barbieri, I., Ciappesoni, G., Ganzábal, A., Banchemo, G., Luzardo, S., & San Julián, R. (2013). Intensification, diversification, and specialization to improve the competitiveness of sheep production systems under pastoral conditions: Uruguay's case. *Animal Frontiers*, 3, 28–35. <https://doi.org/10.2527/af.2013-0021>
- Nilsson, P., Bommarco, R., Hansson, H., & Kuns, B. (2022). Farm performance and input self-sufficiency increases with functional crop diversity on Swedish farms. *Ecological Economics*, 198, 107465. <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2022.107465>
- Opoku, A., Ogunleye, A. M., Solomon, J. K. Q., & Payne, W. A. (2024). Covercrop systems impact on biomass production, carbon-to-nitrogen ratio, forage quality, and soil health in a semi-arid environment. *Heliyon*, 10, e39600. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2024.e39600>
- Peiretti, R., & Dumanski, J. (2014). The transformation of agriculture in Argentina through soil conservation. *International Soil and Water Conservation Research*, 2(1), 14–20. [https://doi.org/10.1016/S2095-6339\(15\)30010-1](https://doi.org/10.1016/S2095-6339(15)30010-1)
- Peltoniemi, K., Velmala, S., Fritze, H., Lemola, R., & Pennanen, T. (2021). Long-term impacts of organic and conventional farming on the soil microbiome in boreal arable soil. *European Journal of Soil Biology*, 104, 103314. <https://doi.org/10.1016/j.ejsobi.2021.103314>
- Reilly, E. C., Gutknecht, J. L., Tautges, N. E., Sheaffer, C. C., & Jungers, J. M. (2022). Nitrogen transfer and yield effects of legumes intercropped with the perennial grain crop intermediate wheatgrass. *Field Crops Research*, 286, 108627. <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2022.108627>
- Sanders, Z. P., & White, C. M. (2023). Can nitrogen recommendations for corn production be improved through spatially explicit crediting of cover crops and soil organic matter? *Smart Agricultural Technology*, 6, 100336. <https://doi.org/10.1016/j.atech.2023.100336>
- Soriano, M.-A., Cabezas, J. M., & Gómez, J. A. (2023). Field evaluation of selected autochthonous herbaceous species for cover crops in Mediterranean woody crops. *European Journal of Agronomy*, 143, 126723. <https://doi.org/10.1016/j.eja.2022.126723>
- Sümmerer, M., Just, C., & Wiesmeier, M. (2025). Soil carbon benchmarks and cropland management effects: Insights from the Bavarian soil organic matter monitoring. *Geoderma Regional*, 40, e00909. <https://doi.org/10.1016/j.geodrs.2024.e00909>
- Torppa, K. A., & Taylor, A. R. (2022). Alternative combinations of tillage practices and crop rotations can foster earthworm density and bioturbation. *Applied Soil Ecology*, 175, 104460. <https://doi.org/10.1016/j.apsoil.2022.104460>
- Vandevoorde, N., & Baret, P. V. (2023). Assessing crop sequence diversity and agronomic quality in grassland regions. *European Journal of Agronomy*, 151, 126958. <https://doi.org/10.1016/j.eja.2023.126958>



- Wolka, K., Uma, T., & Assefa Tofu, D. (2023). The role of integrated watershed management in climate change adaptation for small-scale farmers in Southwest Ethiopia. *Environmental and Sustainability Indicators*, 19, 100260. <https://doi.org/10.1016/j.indic.2023.100260>
- Xiao, J., Zhu, Y., Bai, W., Liu, Z., Tang, L., & Zheng, Y. (2021). Yield performance and optimal nitrogen and phosphorus application rates in wheat and faba bean intercropping. *Journal of Integrative Agriculture*, 20(11), 3012–3025. [https://doi.org/10.1016/S2095-3119\(20\)63489-X](https://doi.org/10.1016/S2095-3119(20)63489-X)